

学位論文

カナダ・日本の産業連関表による建築物の建設に伴う
エネルギー消費量と CO₂ 排出量に関する研究

平成 27 年

浦 野 唯 一

カナダ・日本の産業連関表による建築物の建設に伴う
エネルギー消費量と CO₂ 排出量に関する研究

目次

第 1 章	序論.....	1
1.1	研究の背景.....	1
1.2	カナダ・日本の比較研究.....	3
1.3	研究の課題.....	5
1.4	研究の目的.....	6
1.5	既往の研究	
1.5.1	日本の産業連関表を使用しての研究.....	6
1.5.2	カナダの産業連関表を使用しての研究.....	6
1.5.3	産業連関表を使用しての国際比較研究.....	7
1.6	本論文の構成.....	7
第 2 章	カナダ・日本における建築物総合環境性能評価システムと 省エネルギー法の現状と課題.....	11
2.1	概要.....	11
2.2	建築物総合環境性能評価システム.....	12
2.2.1	世界の建築物総合環境性能評価システム.....	12
2.2.2	BREEAM.....	15
2.2.3	LEED.....	17
2.2.4	CASBEE.....	19
2.2.5	BREEAM, LEED, CASBEE の相違点.....	24
2.3	省エネ法と建築物総合環境性能評価システム.....	25
2.3.1	ASHRAE・NECBとLEED.....	25
2.3.2	省エネルギー基準とCASBEE.....	26
2.4	環境製品宣言 (EPD) と建築物総合環境性能評価システム.....	28
2.4.1	環境製品宣言 (EPD).....	28
2.4.2	製品分類別基準 (PCR).....	31
2.4.3	環境製品宣言 (EPD) と建築材料.....	32

2.4.4	環境製品宣言 (EPD) と CASBEE.....	33
2.4.5	環境製品宣言 (EPD) と LEED.....	34
2.5	建築材料LCAと建築物総合環境性能評価システム.....	38
2.5.1	CASBEEと建築材料LCAデータベース.....	38
2.5.2	LEEDと建築材料LCAデータベース.....	39
2.6	まとめ.....	42
第3章	エネルギー消費量原単位及びCO ₂ 排出量原単位の分析方法.....	45
3.1	概要.....	45
3.2	積み上げ法.....	45
3.3	産業連関分析法.....	46
3.3.1	産業連関表の概要.....	46
3.3.2	SNA 産業連関表.....	47
3.3.3	産業連関分析法.....	49
3.4	カナダ産業連関表の概要.....	50
3.4.1	カナダ産業連関の逆行列係数の算出.....	51
3.4.2	直接的な CO ₂ 排出量の推計.....	53
3.4.3	エネルギー消費量原単位及びCO ₂ 排出量原単位の算出方法.....	55
3.5	まとめ.....	56
第4章	産業連関表によるエネルギー消費量原単位及び CO ₂ 排出量原単位の分析結果.....	65
4.1	概要.....	65
4.2	カナダと日本の産業構造の違い.....	65
4.2.1	カナダ・日本における一次エネルギー消費量と CO ₂ 排出量.....	65
4.2.2	カナダ・日本の産業構造の相違.....	69
4.3	カナダ・日本におけるエネルギー消費量原単位及び CO ₂ 排出量原単位の比較.....	70
4.3.1	両国の建築産業におけるエネルギー消費量原単位及び CO ₂ 排出量原単位.....	70

4.3.2	両国の建築産業の投入部門における投入金額と エネルギー消費量原単位及びCO ₂ 排出量原単位	71
4.4	カナダ・日本の主要建築部材における エネルギー消費量原単位及びCO ₂ 排出量原単位	71
4.4.1	セメント	74
4.4.2	コンクリート	77
4.4.3	鉄筋	78
4.4.4	鉄鋼	80
4.4.5	ガラス	82
4.4.6	製材	84
4.4.7	合板・木質ボード	86
4.5	まとめ	88
第5章	カナダ・日本における事務所建築建設に伴う エネルギー消費量・CO ₂ 排出量の分析	91
5.1	概要	91
5.2	モデル事務所建築概要	91
5.3	モデル事務所建築のエネルギー消費量原単位及び CO ₂ 排出量原単位の分析方法	95
5.3.1	分析方法1	95
5.3.2	分析方法2	96
5.4	工事金額・部材量の比較	97
5.5	部材量の比較	98
5.5.1	現場打ちコンクリート	99
5.5.2	鉄骨	99
5.5.3	鉄筋	100
5.6	モデル事務所建築のエネルギー消費量原単位及び CO ₂ 排出量原単位の分析結果	101
5.6.1	分析方法1－主要部材別エネルギー消費量およびCO ₂ 排出量	101
5.6.2	分析方法1－工事分類別による エネルギー消費量およびCO ₂ 排出量	104

5.6.3	分析方法 2－工事分類別による エネルギー消費量および CO ₂ 排出量	106
5.7	まとめ.....	109
第 6 章 建築物の外皮性能向上に伴う		
	エネルギー消費量・CO ₂ 排出量の分析.....	112
6.1	概要.....	112
6.2	建築物の外皮性能技術における評価・分析の重要性.....	112
6.2.1	建築物の外皮性能技術と 建築物総合環境性能評価システム.....	112
6.2.2	建築物の外皮性能と省エネルギー基準（デザインガイドライン）..	113
6.2.3	建築物の外皮性能技術における水平日射遮蔽物の重要性.....	115
6.3	建築物外皮性能技術の評価・分析.....	116
6.3.1	モデル事務所建築概要.....	116
6.3.2	ASHRAE90.1, 2010による建築物外皮性能技術の分析方法.....	119
6.3.3	ASHRAE90.1, 2010による建築物外皮性能の評価結果.....	127
6.3.4	省エネルギー基準“PAL*”による建築物外皮性能の分析方法....	143
6.3.5	省エネルギー基準“PAL*”による建築物外皮性能の評価結果....	147
6.3.6	ASHRAE90.1, 2010と省エネルギー基準“PAL*” による建築物外皮性能の評価比較結果.....	160
6.3.7	省エネルギー基準“PAL*”による 建築物外皮性能の評価比較結果.....	168
6.4	建築物の外皮性能向上に伴うエネルギー消費量・CO ₂ 排出量.....	172
6.4.1	事務所建築A（カナダ）、事務所建築B（日本）の建築物の外皮性能向上 に伴うエネルギー消費量・CO ₂ 排出量.....	172
6.4.2	オ事務所建築A（カナダ）の水平日射遮蔽物設置に伴う エネルギー消費量・CO ₂ 排出量とSHGC値.....	174
6.4.3	事務所建築B（日本）の水平日射遮蔽物設置に伴う エネルギー消費量・CO ₂ 排出量とPAL*値.....	176
6.5	建築物の外皮性能向上における運用エネルギー排出量.....	178
6.5.1	分析方法.....	178
6.5.2	事務所建築A（カナダ）の分析結果.....	180
6.5.3	事務所建築B（日本）の分析結果.....	182

6.6	建築物の外皮性能向上における建設及び 運用エネルギー排出量・CO ₂ 排出量.....	184
6.6.1	事務所建築A（カナダ）の外皮性能向上における 建設及び運用エネルギー消費量の分析結果.....	184
6.6.2	事務所建築B（日本）の外皮性能向上における 建設及び運用エネルギー消費量の分析結果.....	185
6.7	建築物の外皮性能向上に伴う建設材料金額と運用電力使用料金.....	186
6.7.1	分析方法.....	186
6.7.2	事務所建築A（カナダ）の分析結果.....	189
6.7.3	事務所建築B（日本）の分析結果.....	192
6.8	まとめ.....	195
第7章	建築物の外皮性能向上普及に伴うエネルギー消費量・CO ₂ 排出量の分析	199
7.1	概要.....	199
7.2	既存事務所建築における外皮性能向上の重要性.....	199
7.2.1	カナダの事務所建築市場及び行政と 環境配慮型建築物事務所建築市場.....	201
7.2.2	日本の事務所建築市場・行政と 環境配慮型建築物事務所建築市場.....	204
7.3	カナダ・日本における既存事務所建築のストック量の分析.....	207
7.4	分析方法.....	208
7.5	建築物の外皮性能向上普及に伴うエネルギー消費量・CO ₂ 排出量.....	209
7.5.1	建築物の外皮性能向上普及に伴う エネルギー消費量・CO ₂ 排出量.....	209
7.5.2	水平日射遮蔽物普及に伴う エネルギー消費量・CO ₂ 排出量.....	212
7.5.3	外皮性能向上の普及に伴う建設及び運用時の エネルギー消費量.....	213
7.6	まとめ.....	215
第8章	結論.....	217
8.1	本研究まとめ.....	217

8.2 成果の適用と今後の課題.....	220
謝辞.....	221
著者関連発表論文リスト.....	222

第1章 序論

1.1 研究の背景

建設業による建設活動は、建設資材生産や運輸等の生産誘発効果、さらに施設が完成した後の運用段階まで含めると全世界における30～40%の一次エネルギーを消費している[1]。Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratoryによると、2004年における建設業から排出されたCO₂排出量は世界全体の32%を占めていて、毎年90億トンのCO₂を排出している。全世界におけるその割合は、今後2030年までに35～42%まで高まると予測されている[2]。同様に、建設業は土地利用や建設材料などの開発・使用により多くの天然資源を消費している。全世界における30～40%（約30億トン）の原材料が一年間に建設材料の製造に消費されている。また、アルミニウム、セメント、鉄骨といった主要建設材料は採掘、加工、製造、輸送といった過程で多くのエネルギー消費またCO₂を排出する。その他、建設業における水消費量は、全世界の約1/6、木材使用量は1/4、そして、約25%の廃棄物量は建設業から放出されている。国連は、このような人口増加、経済成長、そして都市化に基づく建設業の活動が今後続くのであれば、2032年までに全世界の約70%における自然環境が何らかの形で汚染、もしくは破壊されるとしている。

建設業は、様々な建築物の建設・道路・橋などの社会基盤整備を通じて、私たちの生活環境創造の上で重要な役割を担っている。しかしその半面、建設活動によって大量の資源を消費するとともに、建設活動の結果である建物は私たちに快適な生活環境を与えるために多くのエネルギーを消費している。建設業の特徴としては、建設工事とは基本的に一品生産であり、また製造業と異なり生産拠点が工期によって移動することがあげられる。また、多品種の製品や素材を集約する組立産業であることから、他業種との関係も深くまたその範囲も広い。このような背景から、建築におけるエネルギー消費量及びCO₂排出量の削減を考える上で、LCA(ライフサイクルアセスメント)の分析は重要である。建築の分野においてATHENA・BEES・USLCI・EPD等によるLCA分析のソフトウェア及びデータベースの開発が進み、LCAの分析が広く浸透している。建築物のLCAには、建設・運用・修繕/改修・解体の主に四つの段階が存在しており、一般的に最もエネルギーを消費するのが運用段階である。運

用エネルギーは、建築物におけるライフサイクルエネルギーの約半分を占め、エネルギー消費量及びCO₂排出量の削減が積極的に進められている。北米の多くの州では、運用時におけるエネルギー効率の向上のため省エネルギー法に基づき、すべての新築、もしくは改築建設（低層住居建築を除く）においてエネルギーモデル等を使用してのエネルギー効率のデータを設計段階で提出することを義務づけている。

建築物におけるLCAの発展とともに、BREEAM・LEED・CASBEEといったLCA以外の環境負荷指標も加味した総合的な建築物総合環境性能評価システムが、近年先進国を中心に急速に社会に普及している。これらの建築物総合環境性能評価システムの特徴として、建築物の屋内環境の性能を評価や建築物を取り巻く周辺環境の環境評価だけでなく、建築物がライフサイクルを通じて環境に及ぼす環境負荷、すなわちLCAの側面にも配慮したことである。現在、多くの行政で建築確認申請時に環境評価システムを使用した環境配慮設計や環境格付けの届出を義務付けている。今後、建築物総合環境性能評価システムの普及・発展とともに建築物のLCAに関する環境性能評価の整備は、重要な役割を担う。このように、建築物総合環境性能評価システムにおける側面からも建築物のLCAの整備は必要である。

建築物の建設に伴うLCAのエネルギー消費量及びCO₂排出量は、運用エネルギーに次いで割合が大きく、建設現場で消費されるエネルギー消費量及びCO₂排出量（土工事や組立工事の際に用いる重機のエネルギー消費量等）と建築部材が製造されるまでのエネルギー消費量及びCO₂排出（原材料の採取や製造エネルギー、運輸エネルギー等）に大きく分けられる。これらの建設現場と建築部材の製造過程のエネルギー消費量及びCO₂排出を総称してエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位と呼ぶ。図1.1-1に示すように、運用時のエネルギー効率の向上により、建築物の建設に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量が建築物のLCAの中で占める割合が今後大きくなると考えられる。よって今後、建築物のLCA・建築物総合環境性能評価システムの発展に伴い、建築物の建設に伴うエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の整備は重要な課題である。

各国の省エネルギー法及び建築物総合環境性能評価システムの改正・普及に伴い、建物全体の省エネルギー効果向上において外皮性能（外壁や窓等）の熱性能・デザイン等の要求基準は日ごとに高くなっている。外皮性能の向上により、照明・暖冷房エネルギー等の運用エネルギーの削減のほか、居住空間内の適正な温度環境など

良質な建築環境を設けることが義務づけられている。このような背景において、建築物の外皮性能向上に伴うエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の評価は必然的に考慮されるべきである。

本研究では、外皮性能のなかでも水平日射遮蔽物に着目し、水平日射遮蔽物設置に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量の評価を行う。カナダの建築設計において水平日射遮蔽物は非常に重要なデザイン要素であり、照明・暖冷房エネルギー等の運用エネルギーの削減に効果的だと考えられている。このような環境的な背景より、特にバンクーバー市では水平日射遮蔽物の設置をほぼ義務付けている。このことより本論文では、エネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を使用して水平日射遮蔽物設置に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量評価、および運用エネルギー消費量を分析・検討することにより、外皮性能向上技術だけでなく、今後環境配慮型建築物そのものを設計・建設する上で、的確な建築技術を見極めるひとつの評価・分析方法のひとつの手段となると考える。

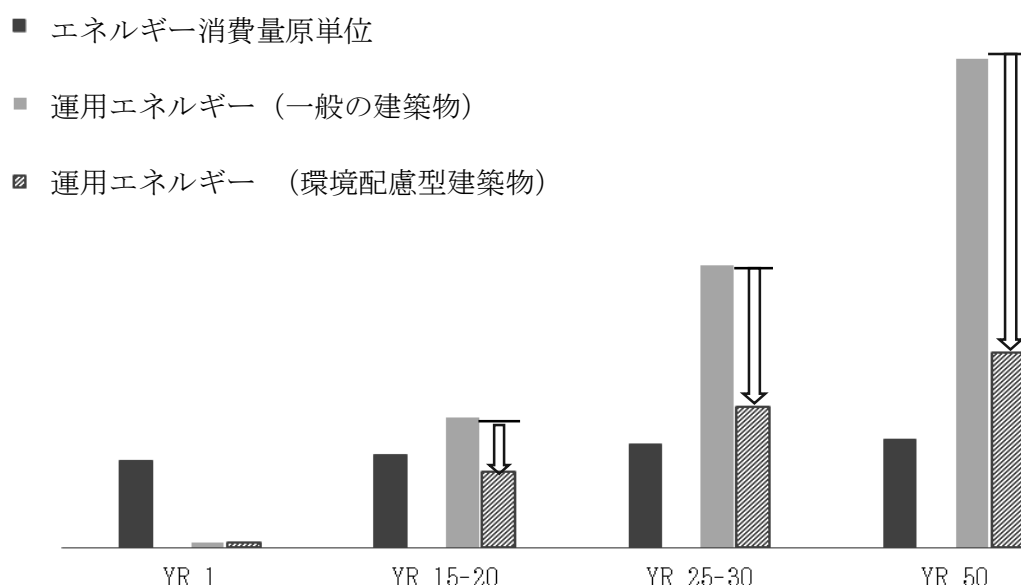


図 1.1-1 建築物 LCA におけるエネルギー消費量原単位と運用エネルギーの比較

資料：Cannon Design, 2013(文献 16)

1.2 カナダ・日本の比較研究

カナダ・日本の比較研究の意義は、両国が地域性、文化性、歴史的背景、産業構造等の多くの相違点を持ちながら、両国とも省エネルギー法及び建築物総合環境性能評価システムを開発促進し、低炭素建築物並びに低炭素都市を推進してる共通点

を持つことがあげられる。

カナダの GDP に対する一次エネルギー消費量及び CO₂ 排出量の割合は先進諸国 (G8) の中でロシアの次に高く日本の約 3 倍にあたる。日本は化石エネルギー(石油・石炭)が一次エネルギーの大半を占める中、1970 年代以降に低コストの省エネルギー技術やエネルギー効率の良い装置を導入することにより、全産業でエネルギー効率及び CO₂ 排出量を飛躍的に改善した。一方、カナダは CO₂ 排出量の少ない天然ガス・水力が一次エネルギー消費量を大きく占める中、特に第二次産業において GDP に対するエネルギー消費量・CO₂ 排出量の割合が日本より高い。

図 1.2-1 にあるように、カナダ・日本のエネルギー効率の相違は、両国におけるエネルギー事情を考察するうえで重要と考える。International Energy Agency によると、日本の国内エネルギー自給率は約 4%に比べ、カナダの国内エネルギー自給率は約 145%に上る。このことは、両国民におけるエネルギー効率向上に対する意識・姿勢に大きな影響を与えてきた。カナダ国民においてエネルギー効率の向上は関心が高いものの、安価で購入できるエネルギー資源はカナダにおけるエネルギー効率向上の大きな妨げになってきた。このように、エネルギー事情の相違があるカナダ・日本の比較研究は重要と考える。

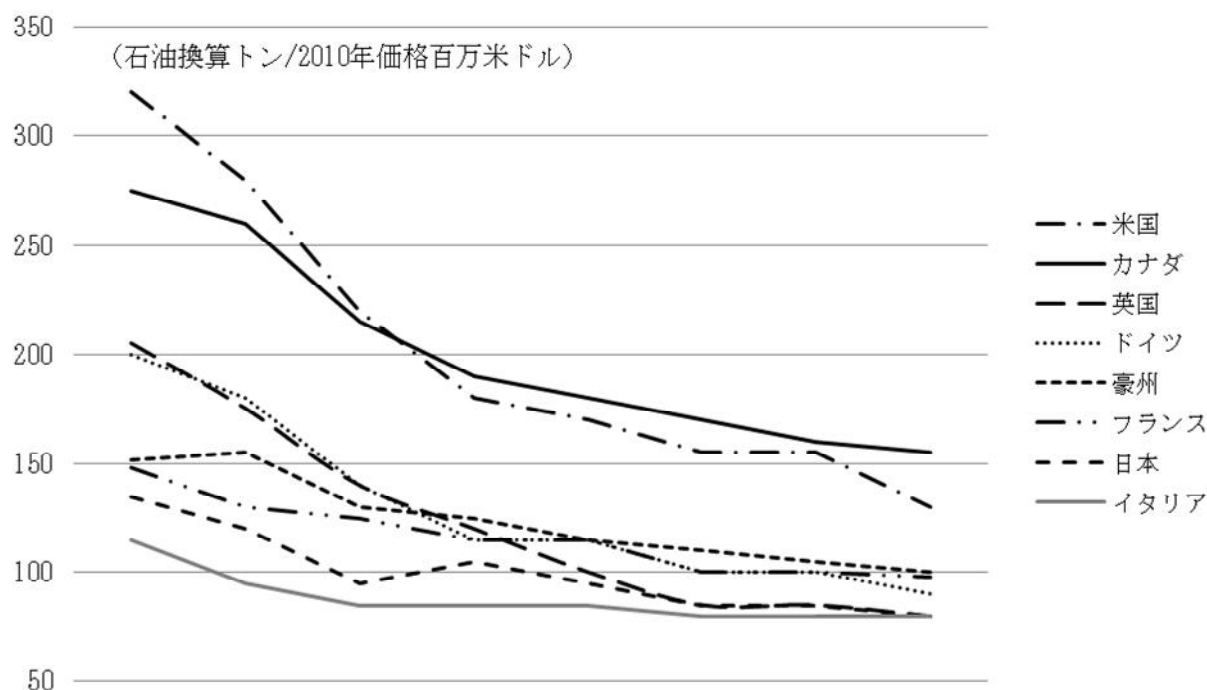


図 1.2-1 主要国のエネルギー効率の推移

資料：EDCM エネルギー・経済統計要覧(文献 17)

また、カナダの LEED、日本の CASBEE といった建築物総合環境性能評価システムの開発と促進とともに ASHRAE、低炭素建築物認定制度などの省エネルギーに対する法規・制度も併用して、低炭素建築物並びに低炭素都市の推進に力を入れている共通点もある。このような両国の建築物の建設に伴うエネルギー消費量と CO₂ 排出量を比較・研究することは、今後各国における省エネルギー法及び建築物総合環境性能評価システムの発展に重要な意味をなす。

1.3 研究の課題

今回の論文では、カナダと日本の産業連関表を用いて建築物に使用される主要建築材料のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を分析し、建設に伴うエネルギー消費量とCO₂排出量を算出するとともに、カナダ・日本の建築物外皮性能向上におけるエネルギー消費量とCO₂排出量の比較・分析を行う。

日本だけでなく、世界各国における産業連関表を使用した建設に伴うエネルギー消費量及びCO₂排出量に関する研究は数多くなされている。しかし、国際間での産業構造や建築仕様の違いが建築部材や建築物のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位に与える比較・分析といった報告をした既往研究は数少ない。それゆえ、地域ごとの建築技術の効率や主要建築材料の環境負荷を見極め、経済性・社会的受容性などに応じた適材適所の建築物を建設するため、世界各国の主要建築材料のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を整備し、産業構造の相違によって起こる建築物の建設に伴うエネルギー消費量及びCO₂排出量の国際比較・要因分析を行うことは重要である。

両国の省エネルギー法及び建築物総合環境性能評価システムにおいて外皮性能評価は、建物全体の省エネルギー性能を評価するうえで重要な建築要素である。多種多様な外皮性能技術が用いられ運用エネルギーが削減される中、今後外皮性能評価における建築物の建設に伴うエネルギー消費量及び CO₂ 排出量は分析は必要である。

1.4 研究の目的

本研究では、カナダと日本の建築物に使用される主要材料のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を分析し、建設に伴うエネルギー消費量とCO₂排出量を算出する。

日本とカナダ両国の国際比較を行なうことの意義は、このように異なるエネルギー構成や産業構造を背景とした地域で、建築物の建設に伴うエネルギー消費量及びCO₂排出量を分析することである。その相違を具体的に定量化することを目的とし、以下の分析を行う。

- 1) カナダ・日本の産業連関表分析による建築材料のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の算出及び比較
- 2) カナダ・日本における建築物の建設に伴うエネルギー消費量及びCO₂排出量の算出及び比較
- 3) カナダ・日本の建築物外皮性能（水平日射遮蔽物）向上におけるエネルギー消費量及びCO₂排出量の比較と運用エネルギーの関係

1.5 既往の研究

本研究は日本・カナダにおける建築物の建設に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量の比較研究のため、3分野（日本の産業連関表を使用しての研究、カナダの産業連関表を使用しての研究、相違ある産業連関表を使用しての比較研究）における既往の研究を行った。

1.5.1 日本の産業連関表を使用しての研究

筆者らは、一連の研究^{4)~9)}において、産業連関表を使って日本の建築物建設に伴うエネルギー消費量及びCO₂排出量に関する研究を行ってきた。近年の研究として、横山計三らは2000年の日本産業連関表を用いた分析により、2000年の経済活動による各種資材・サービスのエネルギー消費量及びCO₂排出量原単位を作成し、建築物の環境影響評価のためのデータベースを作成した[6]。また、横山謙司らは1996年、芦村らは2005年の産業連関表を使用して同様な研究をした[5]。

1.5.2 カナダの産業連関表を使用しての研究

Andrewらは2006年カナダ産業連関表を使用した建設業全般に伴うLCA（ライフサイクルアセスメント）分析のデータベースを整備し、様々な建設段階でLCAの分析を行う上で有効な手段を発展させた。また、実際にこれらのデータベースを使用して高速道路建設におけるエネルギー消費量及びCO₂排出量を算出している[14]。1996年にColeはATHENA研究の一環として、実際の事務所建築に3種類（木造・鉄筋・コンクリート）の建築構造を当てはめ、それぞれの建築構造における事務所建築のLCE（ライフサイクルエネルギー）（建設時、運営時、修復時、解体時）を算出及び比較研究している[13]。

1.5.3 産業連関表を使用しての国際比較研究

2国間の産業連関表を使つてのエネルギー消費量及びCO₂排出量の比較研究として、Normanらは2006年の産業連関分析法を用いて、カナダと米国における二国間貿易により生じる内包エネルギーとGHG排出量の原単位について研究を行っている。カナダと米国の国際産業連関表から、二国間の貿易によるエネルギー消費量原単位を分析している。報告の中で米国の製造業におけるエネルギー消費量原単位は、カナダの製造業の1.15倍であることを示している。その原因として米国の電力は、カナダに比べ化石燃料の構成比が高い割合であることを挙げている[15]。Hayamiらは、2007年に日本・カナダの2006年産業連関表を使用して、産業部門ごとに価格単位での直接的エネルギー消費量及びCO₂排出量を算出し環境評価を行っている[12]。海藤らは、日米における産業連関表を使つて、建築物の建設に伴うエネルギー消費量及びCO₂排出量の比較研究を行った[10]。北米においてこのような産業連関表を使つての環境評価は、単体の建築物を評価するよりインフラストラクチャーを含めた都市レベルにおける環境評価の手法として用いられることが一般的である。

1.6 本論文の構成

本論文では、本章の序論を含む以下の8章で構成する。各章の概要は以下の通りである。

第 1 章では、序論として本研究の背景並びに目的を述べた。国際比較の重要性を含むエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位に関する既往研究を調査し、本研究の位置付けを明確にしている。

第 2 章では、カナダ・日本における LCA・建築物総合環境性能評価システム発展に伴う建築物の建設に伴うエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の整備の重要性と、両国の LCA・建築物総合環境性能評価システムと省エネルギー法との関わりを明確にする。

第 3 章では、エネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の分析手法について整理し、産業連関分析法によりカナダの単位金額当たりの産業部門別エネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位を算出する。算出に関連する各産業部門の化石燃料消費量の算出や逆行列係数の算出方法を示すと共に、カナダの単位金額当たりのエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位を明らかにしている。

第 4 章では、前章第 3 章において算出した単位金額当たりの産業部門別エネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位と統計データを基に建築産業、建物、建築部材それぞれの視点から分析を行う。また、カナダ・日本の相互比較から産業構造や部材のエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の特性を明らかにする。

第 5 章では、実際の建設事例としてカナダ・日本におけるエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位を建設見積書を基に分析している。単位面積当たりの建設工事額および建築部材消費量、建物のエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位を算出し、比較分析するとともにエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の大きい建物部位を特定することでカナダ・日本の建物仕様によるエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の特徴を示した。

第 6 章では、第 5 章で使用した分析をもとに、カナダ・日本における両国の省エネルギー法評価基準を満たす外皮性能技術（水平日射遮蔽物）を両国のモデル事務所建築を使って設計し、水平日射遮蔽物建設に伴うエネルギー排出量・CO₂ 排出量の評価を行う。同時に、外皮性能向上に伴う運用エネルギー（照明・冷房・暖房）の評価を行い、カナダ・日本における水平日射遮蔽物設置時の特徴を明確にし、今後の環境配慮型建築技術の導入効果を判断する場合の活用事例を提示した。

第 7 章では、第 6 章での研究成果を総括・検討し、水平日射遮蔽物建設に伴うエネルギー排出量・CO₂ 排出量及び運用エネルギー消費量を都市レベルで分析し、今後の展望と課題について述べる。

第 8 章では、本研究の成果をまとめるとともに、今後の課題と展望について述べる。

第 1 章 参考文献

- 1) Buildings and Climate Change-Status, Challenges and Opportunities, United Nations Environment Programme, 2007. (<http://www.unep.org/sbci/pdfs/SBCI-BCCSummary.pdf>)
- 2) L. Price, S. de la Rue du Can, J. Sinton, E. Worrell, Z. Nan, J. Sathaye and M. Levine, Sectoral : Trends in Global Energy Use and Greenhouse Gas Emissions, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 2006.
- 3) BCS LCA専門部会フレームワークWG：建築業における L C Aガイドライン策定に向けて, 2001. (<http://www.nikkenren.com/archives/kenchiku/home/books/images/6%EF%BC%9Aguidline.pdf>)
- 4) 岡建雄：産業連関表による建築物の評価(その1), 省エネルギービルと一般事務所ビルの比較, 日本建築学会計画系論文集, No. 359 p17-22, 1986. 1
- 5) 横山謙司, 柴田理, 横尾昇剛, 岡建雄：1995年表によるエネルギー消費量と炭素排出量の原単位：産業連関表による建築物の評価(その8), 日本建築学会計画系論文集, No. 531, p75-80, 200. 5
- 6) 横山計三, 横尾昇剛, 岡建雄：2000年産業連関表によるエネルギー消費量・二酸化炭素排出量原単位の算出と建物評価, 日本建築学会環境系論文集, No. 589, p75-82, 2005. 3
- 7) 川津行弘, 横尾昇剛, 岡建雄, 横山計三：各年代の産業連関表による建築物の建設に伴うエネルギー消費量, CO₂ 排出量の変遷に関する研究, 産業連関表による建築物の評価 (その 1 1), 日本建築学会環境系論文集, No. 609, p109-115, 2006. 11

- 8) 川津行弘, 横尾昇剛, 岡建雄, 石黒秀理: 建築物の建設に伴うエネルギー消費量, CO₂ 排出量における投入材料の変遷に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No. 629, p931-938, 2008. 7
- 9) 芦村昌士, 沼田博美, 横山計三, 竹林芳久, 横尾昇剛, 岡 建雄: 2005 年産業連関表による建設に伴う CO₂ 排出量原単位の作成と流通マージンの分析に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No. 653, p653-659, 2010. 7
- 10) 海藤 俊介, 横尾 昇剛, 岡 建雄: 日米の建築物の建設に伴う CO₂ 排出量の比較に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No. 663, p523-528, 2011. 5
- 11) 海藤 俊介: 建築物の建設に伴うエネルギー消費に関する分析方法および削減手法について, Annual Report No. 24, NTT Facilities Research Institute, June 2013. (https://www.nttfsoken.co.jp/research/pdf/2013_02.pdf)
- 12) Hayami H. and Nakamura, M: 2006. Greenhouse gas emissions in Canada and Japan: Sector-specific estimates and managerial and economic implications, Journal of Environmental Management, Vol. 85, pp. 371-392. 2007
- 13) Cole, R.J. and Kernan, P.C.: Life-Cycle Energy Use in Office Buildings, Building and Environment, Building and Environment, Vol. 31, No. 4, pp. 307-317, 1996. 2
- 14) Bjorn, A., Declercq-Lopez, L., Spatari, S., MacLean, H.L.: Decision Support for Sustainable Development Using a Canada Economic input-output Life Cycle Assessment Model, Canadian Journal of Civil Engineering, Volume 32, pp. 16-29, 2005
- 15) J. Norman, A.D. Charpentier, H.L. Maclean: Economic Input-Output Life-Cycle Assessment of Trade Between Canada and the United States, Environmental Science & Technology, Vol 41, No.5, 2007
- 16) CANNONDESIGN: Material Life Embodied Energy of Building Materials.
(<http://media.cannondesign.com/uploads/files/MaterialLife-9-6.pdf>)
- 17) 日本エネルギー経済研究所: EDCM エネルギー・経済統計要覧, 2014

第2章 カナダ・日本における建築物総合環境性能評価システムと 省エネルギー法の現状と課題

2.1 概要

本章では、図2.1-1に示すように建築物のLCA・建築物総合環境性能評価システムの発展に伴う建築物の建設に伴うエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の整備の重要性を説く。まず、各国の建築物総合環境性能評価システムを概括し、カナダ・日本における建築物総合環境性能評価システムを考察する。次に、建築物総合環境性能評価システムと併用して使用されるカナダ・日本の省エネルギー法及び建築材料LCAデータベース等を紹介すると共に、建築物の建設に伴うエネルギー消費量とCO₂排出量の比較・分析の重要性を説く。

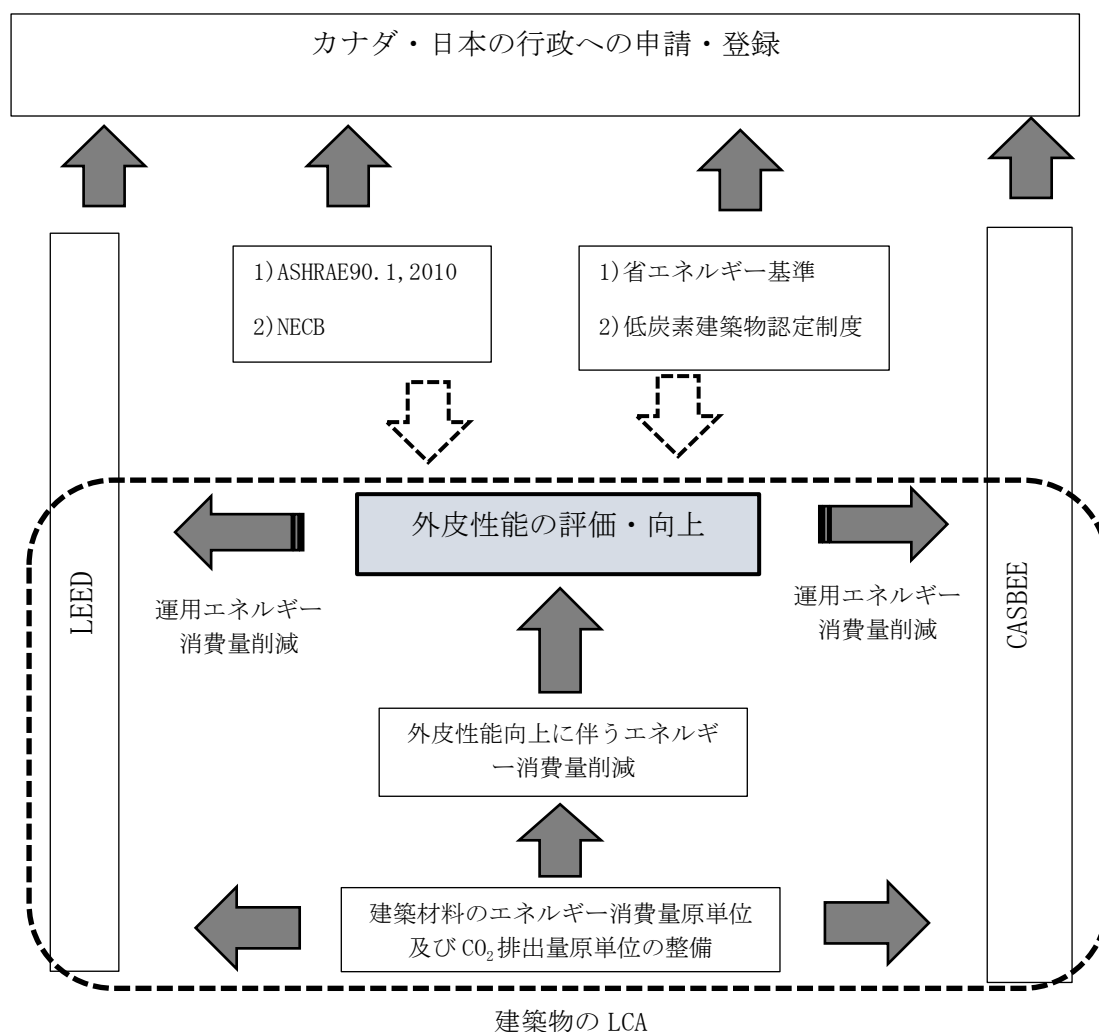


図 2.1-1 建築物の建設に伴うエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の整備の重要性

2.2 建築物総合環境性能評価システム

建築物総合環境性能評価システムとは，建築物を環境性能で評価し格付けする手法である。省エネルギーや省資源・リサイクル性能といった環境側面はもとより，室内の快適性や景観への配慮といった環境品質・性能の向上といった側面も含めた建築物の環境性能を総合的に評価するシステムである。このような建築物の環境性能評価手法は，近年先進国を中心に急速に社会に普及し，世界各国で環境配慮設計や環境ラベリング（格付け）の手法として利用されている。また，環境性能評価の格付けは世界中の不動産評価に用いられる指標となっており，不動産市場へ新たな環境配慮型不動産の普及を促すツールとして注目されている。

2.2.1 世界の建築物総合環境性能評価システム

現在，世界各国で使用されている代表的な建築物総合環境性能評価システムは，下図(2.2-1)に示すように様々なものが存在する。このうち，代表的な環境性能評価システムは，イギリスのBREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)，米国のLEED (Leadership in Energy and Environment Design)，オーストラリアのGreen Star，さらに日本のCASBEE (Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency) などがある。

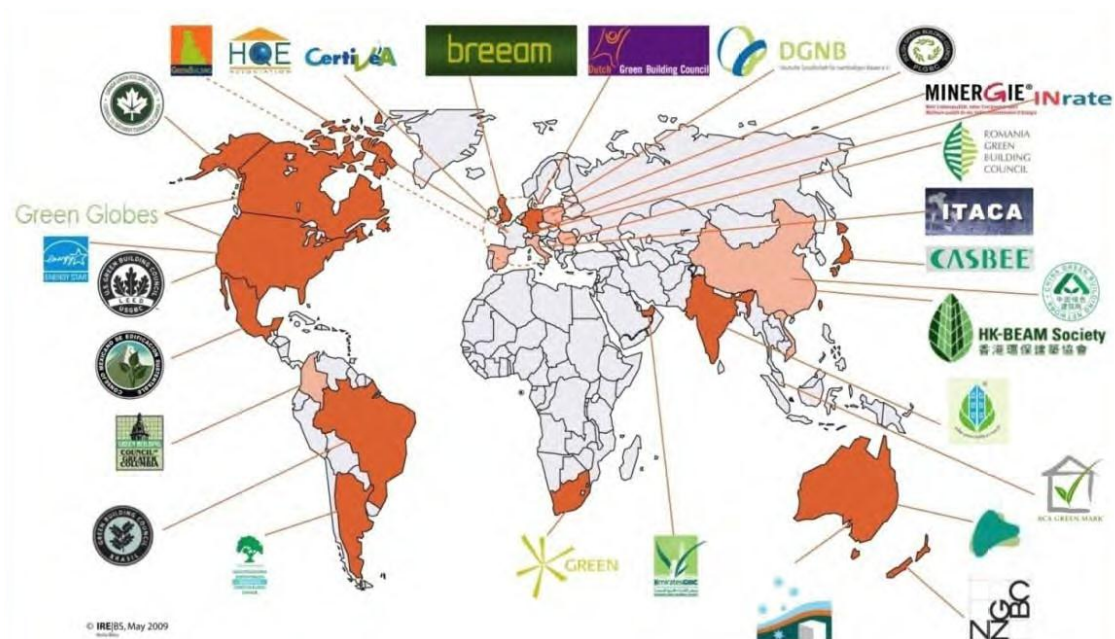


図 2.2-1 世界各国で使用されている建築物総合環境性能評価システム

出典：(文献 2)

各環境評価システムは、評価手法が独自であり簡単に比較することは困難だが、建築物の環境側面を様々な角度から捉え、総合的に環境性能を評価するといった共通の概念を有している。

下図(2.2-2)に、建築物総合環境性能評価システム開発の歴史を示す。BREEAMは、英国建築研究所(BRE)により1990年に開発された評価手法で、建築物の環境性能評価ラベルとしては世界でもっとも早期に開発されたものの一つである。BREEAMの開発から6年後の1996年、非営利団体である米国グリーンビルディング評議会(USGBC: U.S.Green Building Council)によってLEEDが開発された。日本ではLEEDの開発からさらに5年遅れの2001年に「建築物総合環境性能評価システムCASBEE」の開発がスタートし、今日まで体系的な充実が図られてきた。

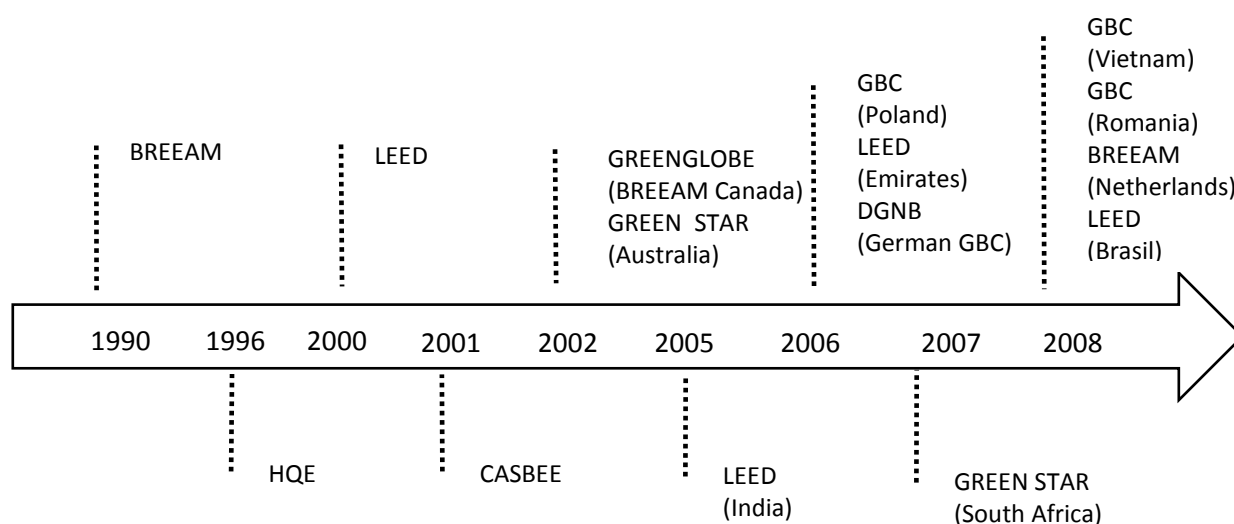


図 2.2-2 建築物総合環境性能評価システムの開発の歴史

また下表(2.2-1)に、代表的な建築物総合環境性能評価システムBREEAM, LEED, CASBEE, GREEN STARにおける整備状況をまとめた。また、本論分の研究における建築物の建設に伴うエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の整備において、カナダ・日本の建築物総合環境性能評価システムLEED及びCASBEEの評価方法等詳しく分析する。

表 2.2-1 建築物総合環境性能評価システムの整備状況

評価基準名称	国	LCA 分析	EPD	評価対象	概要
CASBEE	日本	有	無し	<ul style="list-style-type: none"> ・事業段階毎（企画、新築、既存、改修） ・対象種別毎（建築系、住宅系、まちづくり系） ・その他（ヒートアイランド） 	<ul style="list-style-type: none"> ・2001年から現在に至るまで、国土交通省の主導の下、（財）建築環境・省エネルギー機構内に設置した委員会において、環境に配慮した建築物の普及を目的として開発が行われている。事業段階に応じた企画、新築、既存、改修の4つの基本ツールと、個別目的に応じた建築、住宅、まちづくり等の拡張ツールがある。 ・①建築物のライフサイクルを通じた評価ができること、②「建築物の環境品質（Q）」と「建築物の環境負荷（L）」の両側面から評価すること、③「環境効率」の考え方をを用いて新たに開発された評価指標「BEE（建築物の環境効率、Building Environmental Efficiency）」で評価すること、の3つを理念としている。
LEED	米国・カナダ	有	有	<ul style="list-style-type: none"> ・対象種別毎（新築、既存、商業用不動産内装、学校、小売用、ヘルスケア、住宅） ・その他（近隣開発） 	<ul style="list-style-type: none"> ・1996年に建築の各分野の代表で構成されるU.S. Green Building Councilによって開発された。グリーンビル設計・構造・運用に関する評価基準の提供を目的としている。 ・評価項目は景観維持、エネルギー効率、資源保護、環境の質、水資源保護、設計の6分野に分類される。
BREEAM	英国	有	有	<ul style="list-style-type: none"> ・対象種別毎（オーダーメイド基準、裁判所、サステナブル住宅、既存住宅、保健・衛生、工業施設、インターナショナル、刑務所、オフィス、 	<ul style="list-style-type: none"> ・英国建築研究所BRE（Building Research Establishment）と、エネルギー・環境コンサルタントのECD（Energy and Environment）によって1990年に開発された。 ・「法律より厳しい基準を掲げることにより所有者、居住者、設計者、運営者の環境配慮の自覚を高め、最良の設計・運営・維持・管理を奨励するとともにそれらの建物を区別し認識させること」を目的としている。 ・既存・新築のどちらにも適用でき、管理、健康と快適、エネルギー、交通、水資源、材料、敷地利用、地域生態系、汚染の最大9分野で評価される。 ・世界で最初の環境価値評価指標であり、英国外でも広く利用されている。
GREEN STAR	豪国	有	有	<ul style="list-style-type: none"> ・対象種別毎（新築、商業用不動産内装、学校、小売用、ヘルスケア、住宅） 	<ul style="list-style-type: none"> ・オーストラリア・グリーン建築審議会が開発したグリーンスター・システムは、商業用建築物の環境への配慮（environmental credentials）を評価・認証する任意制度である。 ・グリーンスターは新規建築物に適用され、6段階で評価される。グリーンスター認証は、4つ星、5つ星、6つ星の建築物に与えられる。 ・評価に際しては、管理状態、室内環境の質、エネルギー、輸送、水、材料、土地利用・エコロジー、排出、革新性の各項目が考慮される。

出典：BREEAM ウェブサイト(文献3)，CGBCウェブサイト(文献4)，CASBEEウェブサイト(文献5)
Green Star ウェブサイトCGBCウェブサイト(文献15)

2.2.2 BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method)

BREEAMは、1990年に英国建築研究所(BRE)によって世界に先駆けて開発された建築物の環境性能評価手法である。制度の目的は、法律より厳しい基準を掲げることに
より所有者、居住者、設計者、運営者の環境配慮の自覚を高め、最良の設計・運
営・維持・管理を奨励すること等とされている。1990年以降、BREによれば全世界で
約25万棟以上の建築物がBREEAMの認証を取得し、約100万棟以上の建物が登録をして
いる。基本的な評価システムは表2.2-2に示すように、6つの評価ツールによって構
成されている。特に、BREEAM New Construction（新築版）には一般的な建築物用途
ごとに10つの評価ツールが用意されていて、英国内と英国以外の国や地域向けの2つ
に分類することができる。BREEAM Internationalは、欧州各国や米国など10カ国以
上での建築物評価に使用されている。

評価方式(図2.2-3)は、新築・既存のいずれの建築物にも適用でき建築種別に応じ
た評価ツールにおける加点方式で、マネジメント、健康、快適性、エネルギー、交
通、水、廃棄物、材料等、9のカテゴリ（大項目）ごとにポイントを算出し、それら
に重み係数を掛けた加重集計を行い、5段階の格付（ラベリング）が与えられる。
BREEAMでは、省エネルギーの観点から、運用段階のCO₂排出量を直接評価する他、断
熱性能や家電の省エネ性能を評価していることが特徴としてあげられる。なお、認
証を取得した物件は、オフィスビルよりも住宅が多い。

表 2.2-2 BREEAM 評価システムの構成

BREEAM New Construction (新築版)	Courts (庁舎)
	Data Centres (データセンター)
	Education (学校・教育施設)
	Healthcare (病院)
	Industrial (工場・産業)
	Multi-residential (集合住宅)
	Offices (事務所)
	Other Buildings (その他のビル)
	Prisons (刑務所)
	Retail (小売)
BREEAM Refurbishment (改修版)	
BREEAM Communities (コミュニティ版)	
BREEAM In-Use (既存版)	
Code for Sustainable Homes (サステナブル住宅に関する基準)	
Eco Homes (エコ住宅に関する基準)	

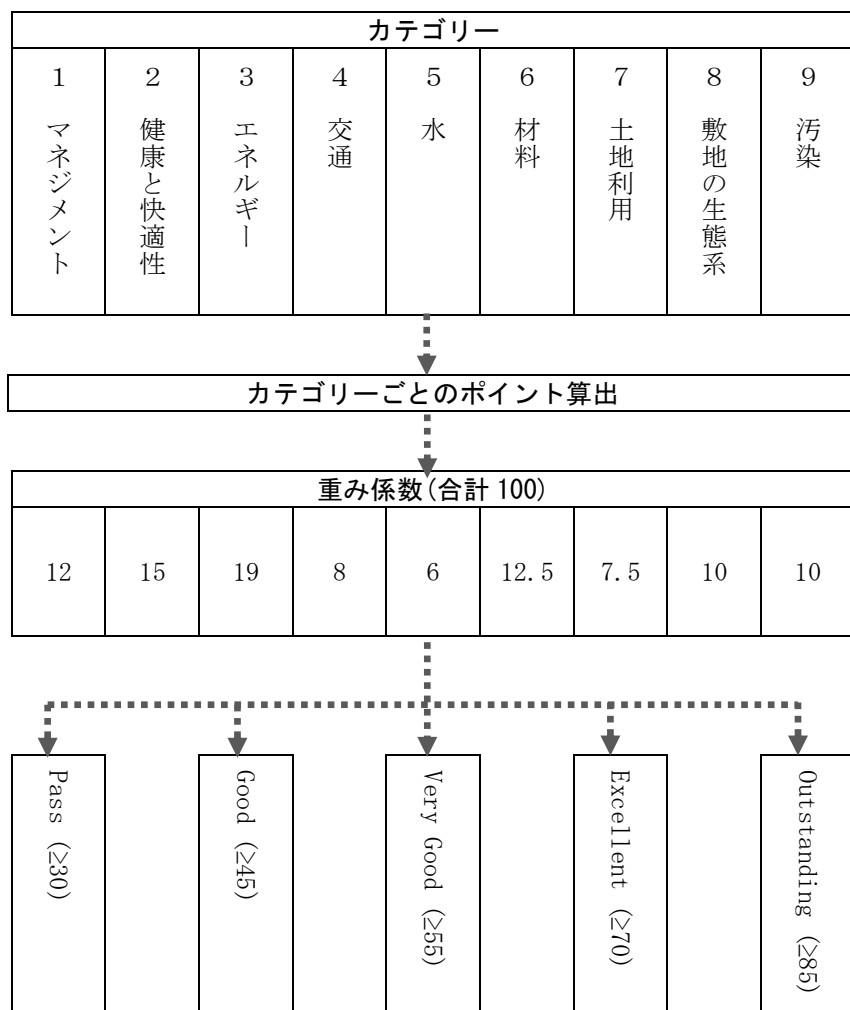


図 2.2-3 BREEAM 評価方式と重み係数

資料：BREEAM（文献 3）

2.2.3 LEED (Leadership in Energy and Environment Design)

LEEDとは、1996年に米国グリーンビルディング協会(USGBC : U.S. Green Building Council)が開発し運用を行っている。敷地利用と建築物に対する環境性能評価システムで、基本的なコンセプトは英国のBREEAMと同様である。LEEDはエネルギーの無駄を排し、出来るだけ効率のよい利用方法を実践するだけでなく、更にエネルギーの使い方に限らず包括的に環境面に配慮しながら建物を設計、施工、運営、管理していく仕組みを牽引していこうとする試みである。LEEDは、評価の対象によっていくつかの評価ツールに分類されている。LEED-NCのように建物全体を評価するものから、LEED-CIのようにテナントビルの入居部分1区画だけを評価するツールもあり、さまざまな規模に対応するほか、LEED-EBのように既存ビルの運用を評価する分類も存在する(表2.2-3, 4, 5)。

表 2.2-3 LEED の主な評価システム

評価システム	評価対象
LEED for New Construction (LEED-NC)	新築または大規模な増築・改修プロジェクトの計画および建設段階を評価
LEED for Existing Buildings Operation & Maintenance (LEED-EB)	既存ビルの運営管理段階を評価
LEED for Commercial Interiors (LEED-CI)	テナントビルの入居者専有部分の計画および建設段階を評価
LEED for Core & Shell (LEED-CS)	テナントビルオーナー所掌範囲の計画および建設段階を評価
LEED for Schools, Healthcare, Retail	学校, 病院, 小売店を評価
LEED for Homes	住宅の計画および建設段階を評価
LEED Neighborhood Development (LEED-ND)	街区版

出典：CGBC(文献 4)

表 2.2-4 LEED の主な評価システム

LEED 2009

LEED v4

				評価項目		必須項目	
				統合的なプロセス	1 項目	(1P)	なし
				LT: 立地と交通	8 項目	(16P)	なし
SS: 持続可能な敷地	8 項目	(26P)	1 項目	SS: 持続可能な敷地	6 項目	(10P)	1 項目
WE: 水利用効率	3 項目	(10P)	1 項目	WE: 水利用効率	3 項目	(11P)	3 項目
EA: エネルギーと大気	6 項目	(35P)	3 項目	EA: エネルギーと大気	7 項目	(33P)	4 項目
MR: 材料と資源	7 項目	(14P)	1 項目	MR: 材料と資源	6 項目	(13P)	2 項目
EQ: 室内環境品質	8 項目	(15P)	2 項目	EQ: 室内環境品質	9 項目	(16P)	2 項目
ID: 設計における革新性	2 項目	(6P)	なし	ID: 設計における革新性	2 項目	(6P)	なし
RP: 地域的優先事項	1 項目	(4P)	なし	RP: 地域的優先事項	4 項目	(4P)	なし
合計	35 項目	(110P)	8 項目	合計	45 項目	(110P)	8 項目

出典：CGBC(文献 4)

表 2.2-5 LEED の評価ポイント

評点 (69P 満点)	評価ランク
80+P	プラチナ
60～79P	ゴールド
50～59P	シルバー
40～49P	認証

出典：CGBC(文献 4)

全評価58項目は、大きく分けて場所・交通、土地利用、水効率、エネルギー・大気、材料・資源、室内環境、改良、(Regional Priority)の8項目に分かれている。LEEDの最終評価は、長所と短所を加減算して点数化する方式で、BREEAMのような掛け算や、CASBEEのような割り算も使用しない。シンプルな計算方法に加え、環境ラベリングを全面に押し出し、プラチナやゴールドといったブランドイメージを持たせた平易な格付け方法が利用者に受け入れられている。

カナダの多くの行政では、建築環境配慮制度の届け制度としてLEEDを採用している。特に、バンクーバー市では“GREED CITY, 2020 ACTION PLAN”の一環として、2014年6月よりすべての建築物においてLEEDゴールド、または同等の標準にすることが義務づけられている。バンクーバー市では、建築物のLEEDの基準に満たすために以下のようなデザインプロセスの提出が義務づけられている。

- 1) 設計段階ごとにおける環境配慮型デザインの提案。この提案は、申請者が現在考慮するクレジットと、これから加算されるべきであろうクレジットの達成方法を図面に提示する。
- 2) 証明書登録認定機関の提出
- 3) 設計段階ごとにおける環境配慮型デザインの更新(エネルギーモデリングでの提出)
- 4) 各種レポートの提出による設計段階におけるクレジット達成もしくは対処方法の申告

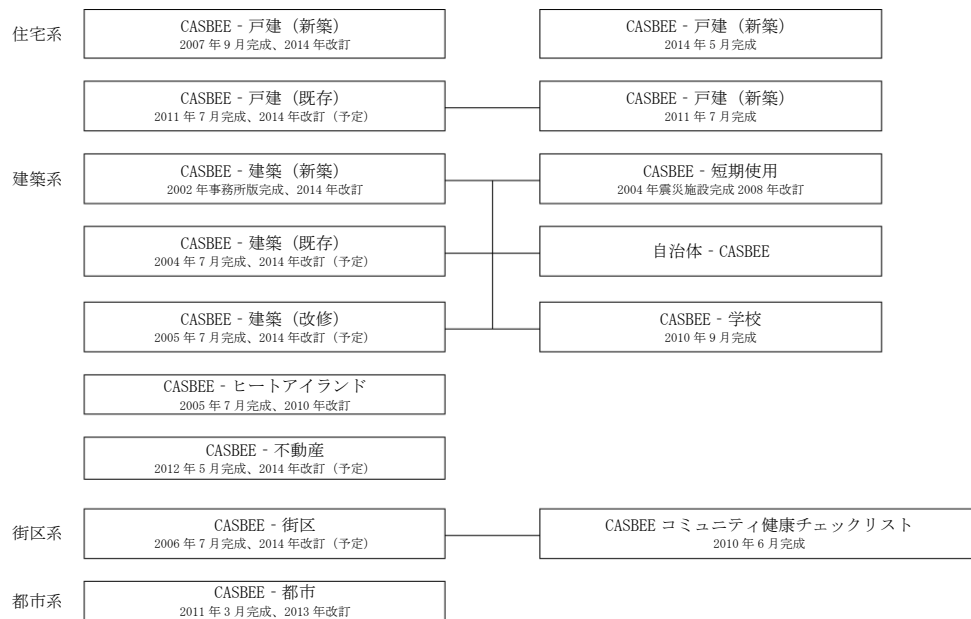
2.2.4 CASBEE

CASBEE (Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency) は、省エネや省資源・リサイクル性能といった環境負荷削減の側面はもとより、室内の快適性や景観への配慮といった環境品質・性能の向上といった側面も含めた、建築物の環境性能を総合的に評価するシステムである。CASBEEは、2001年に国土交通省の主導の下に、(財)建築環境・省エネルギー機構 (IBEC) 内に設置された委員会において開発が開始されたもので、これまでにCASBEE—新築 (2003年7月)、CASBEE—既存 (2004年7月)、CASBEE—改修 (2005年7月) 等の建築物のライフサイクルに応じた基本ツールと、CASBEE—HI (ヒートアイランド) (2005年7月)、

CASBEE—すまい（戸建）（2006年7月），CASBEE—まちづくり（同）等の個別の目的に応じた拡張ツールが発表されており，これらを総称して「CASBEEファミリー」と呼んでいる。これらのツールは，社会経済情勢の変化やその時々の方政策的な要請等を踏まえ逐次改定され，「CASBEE—新築（2010年版）」等の名称で呼ばれている。なお，2009年からは，新たに発足した一般社団法人日本サステナブル建築協会がCASBEEの開発と普及を行っている。現在，2014年8月に2014年版の新しいツールである，CASBEE-建築（既存）と建築（改修）が公開された。

CASBEEでは，建築物の総合的な環境性能を建築物の環境品質（Q:Quality）と，建築物が外部に与える環境負荷（L:Load）の2つの要素に分けて評価しており，より良い環境品質の建築物を，より少ない環境負荷で実現するための評価システムと言える。CASBEEの評価は，Q（環境品質（Q:Quality））をL（環境負荷）で割ったBEE（Built Environment Efficiency:建築物の環境効率）によって求められる。この環境効率という考え方がCASBEEの最大の特徴であり，BREEAMやLEEDとの大きな相違点となっている。BEEは，縦軸にQ，横軸にLをとったグラフとして表示され，Q値が高くL値が低いほどこの傾斜（BEE値）が大きくなり，よりサステナブルな性質を持った建築物と評価できる。CASBEEでは，この傾きに従い，S（素晴らしい），A（大変良い），B+（良い），B-（やや劣る），C（劣る）という5ランクに分割される領域によって，建築物の総合的な環境性能評価結果の格付が行われる。具体的には，QとLに関する100程度の項目をCASBEE評価ソフトに入力することによりBEE値が算定される（表2.2-5, 6, 7）。

表 2.2-5 CASBEE ファミリーの構成



出典：CASBEE（文献 5）

表 2.2-6 CASBEE の評価ポイント

Q 建築物の環境品質	Q1 室内環境	室内環境
		温熱環境
		光・視環境
		空気質環境
	Q2 サービス性能	機能性
		耐用性・信頼性
		対応性・更新性
	Q3 室外環境（敷地内）	生物環境の保全と創出
		まちなみ・景観への配慮
		地域性・アメニティへの配慮
L R 建築物の環境負荷低減性	LR1 エネルギー	建物の熱負荷抑制
		自然エネルギー利用
		設備システムの高効率化
		効率的運用
	LR2 資源・マテリアル	水資源保護
		非再生性資源の使用量削減
		汚染物質含有材料の使用回避
	LR3 敷地外環境	地球温暖化への配慮
		地域環境への配慮
		周辺環境への配慮

出典：CASBEE（文献 5）

表 2.2-7 CASBEE の評価ポイント

ランク	評価	BEE 値ほか	ランク表示
S	Excellent 素晴らしい	BEE=3.0 以上、Q=50 以上	★★★★★
A	Very Good 大変良い	BEE=1.5 以上 3.0 未満	★★★★
B+	Good 良い	BEE=1.0 以上 1.5 未満	★★★
B-	Fairly Poor やや劣る	BEE=0.5 以上 1.0 未満	★★
C	Poor 劣る	BEE=0.5 未満	★

出典：CASBEE（文献 5）

地方自治体においては、条例や要綱に基づき建築主の環境に対する自主的な取り組みを推進し、快適で環境に配慮した建築物の誘導を図ることを目的として、一定規模以上の建築物の新築・増築等の際に、建築主にCASBEEにより建築物の環境性能を自主的に評価した「環境計画書」の提出を義務付け、当該計画書の概要をホームページで公表等する制度を導入する事例が増加している。地方自治体のCASBEEを活用したこのような取り組みは「自治体版CASBEE」と呼ばれ、2004年4月に名古屋市が全国の自治体に先駆けて導入しており、その後、大阪市、横浜市、京都市等がこれに続き、2010年10月末時点においては、大都市圏を中心に22自治体で導入されている。自治体版CASBEEによる届出義務のある新築、増築等に係る建築物の延べ面積は自治体によって様々であるが、大別すれば2,000m²以上又は5,000m²以上とされており、5,000m²以上としている自治体でもそれ未満のものについて任意提出を認めているところがある（札幌市、川崎市、大阪市等）。また、横浜市が従来5,000m²以上とされていた届出義務を、2010年4月から2,000m²以上のものまで拡大するなど、現在では環境意識の高まりから2,000m²以上とするものが主流となってきている。

CASBEEを活用している自治体の多くは、IBECの「CASBEE—新築（簡易版）」をベースとして使用しているが、地域性や政策等を勘案して評価基準や評価項目間の重み係数を変更して重点項目のウェイトを高めるなどの修正を行っており、それぞれ「CASBEE名古屋」「CASBEE大阪」「CASBEE横浜」などの通称で呼ばれている。自治体版CASBEEによる届出件数の合計は、2010年3月末現在、4884件で各自治体ごとの内訳は表2.2-8のとおりである。

自治体名	対象建築物 の延べ面積 の下限	施行日	各年度の届出状況（件数）						
			2004	2005	2006	2007	2008	2009	計
1 名古屋市	2000	2004. 4. 1	148	234	210	229	173	100	1094
2 大阪府	5000	2004. 10. 1	26	72	97	109	73	54	431
3 横浜市	2000	2005. 7. 1	－	93	123	113	102	39	470
4 京都市	2000	2005. 10. 1	－	21	104	93	68	63	349
5 京都府	2000	2006. 4. 1	－	－	37	45	33	37	152
6 大阪府	5000	2006. 4. 1	－	－	60	101	115	108	384
7 神戸市	2000	2006. 8. 1	－	－	68	136	104	67	375
8 兵庫県	2000	2006. 10. 1	－	－	81	162	187	151	581
9 川崎市	5000	2006. 10. 1	－	－	38	47	40	38	163
10 静岡県	2000	2007. 7. 1	－	－	－	120	222	136	478
11 福岡市	5000	2007. 10. 1	－	－	－	18	37	31	86
12 札幌市	5000	2007. 11. 1	－	－	－	20	77	32	129
13 北九州市	2000	2007. 11. 1	－	－	－	5	18	14	37
14 さいたま市	2000	2009. 4. 1	－	－	－	－	－	44	44
15 埼玉県	2000	2009. 10. 1	－	－	－	－	－	43	43
16 愛知県	2000	2009. 10. 1	－	－	－	－	－	68	68
17 神奈川県	5000	2010. 4. 1	－	－	－	－	－	－	－
18 千葉市	5000	2010. 4. 1	－	－	－	－	－	－	－
19 鳥取県	2000	2010. 4. 1	－	－	－	－	－	－	－
20 新潟県	2000	2010. 4. 1	－	－	－	－	－	－	－
21 広島市	2000	2010. 4. 1	－	－	－	－	－	－	－
22 熊本県	2000	2010. 10. 1	－	－	－	－	－	－	－
計			174	420	818	1198	1249	1025	4884

表 2.2-8 CASBEE を活用している自治体の届出件数 （2010 年 3 月末現在）

出典：（文献 15）

2.2.5. BREEAM, LEED, CASBEE の相違点

BREEAM及びLEEDは、建築物の標準的な環境性能を大項目ごとにポイントを加・減算して点数化するというシンプルな評価手法として、北米だけでなく日本を含め世界中で認証取得申請が行われている。CASBEEでは、建築物の総合的な環境品質（Q:Quality）と、建築物が外部に与える環境負荷（L:Loard）で割ったBEE（Built Environment Efficiency:建築物の環境効率）によって求められる。この環境効率という考え方がCASBEEの最大の特徴であり、BREEAMやLEEDとの大きな相違点となっているが、その評価手法が独自であり他の建築環システムと比較が難しいとされている。図2.2-2に、BREEAM, LEED, CASBEEそれぞれの評価ツールの重みを比較する。CASBEEにおける評価項目は必須5項目、加点項目16項目、加点ポイント合計は満点時に100点となるように構成した。

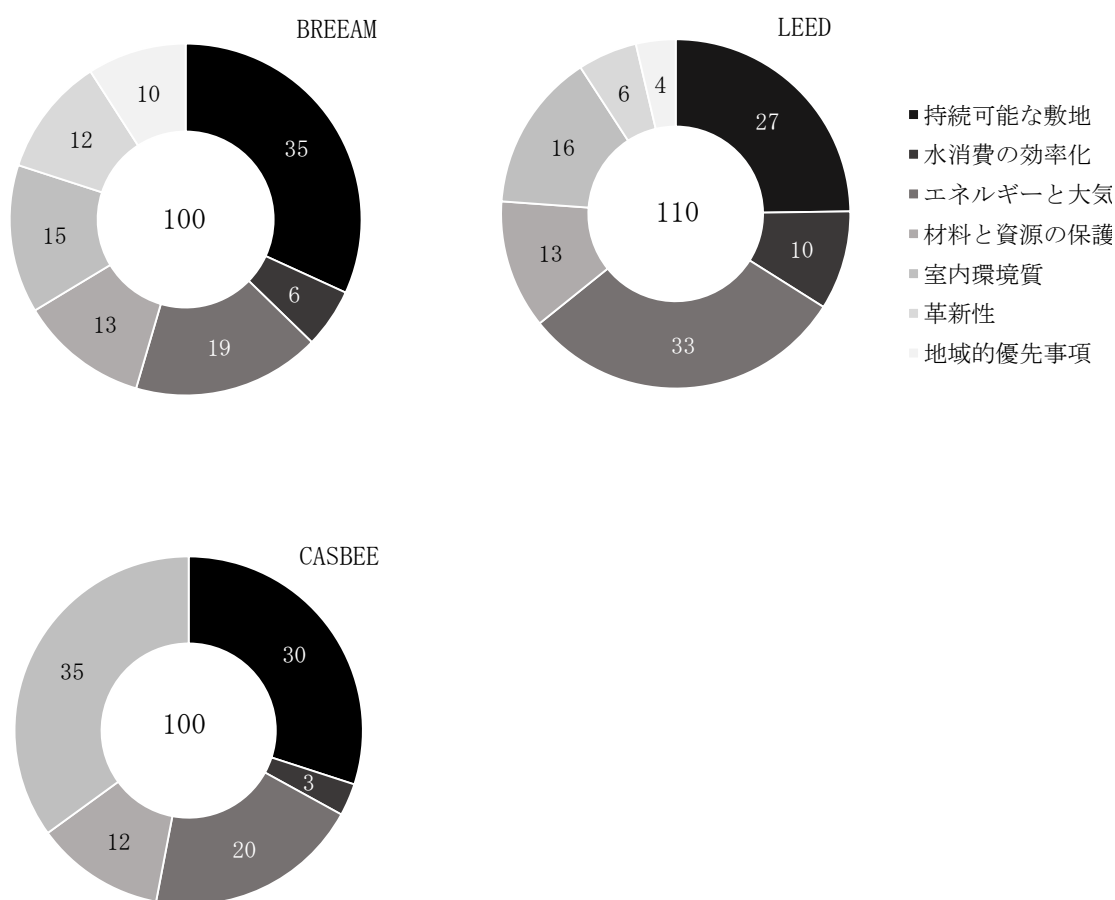


図 2.2-2 BREEAM, LEED, CASBEE それぞれの評価ツールの重み

参照：LEED(文献 4)，CASBEE(文献 5)，BREEAM(文献 3) ウェブサイトより作成

2.3 省エネ法と建築物総合環境性能評価システム

歴史的な背景をみると、カナダ・日本における多くの自治体において、商業ビル等の大規模建築物に対する何らかのエネルギー消費量の提示はなされてきた。現在、建築物総合環境性能評価システムの発展と自治体への提出要求の必要性とともに、各国の省エネルギー法は、建築物総合環境性能評価システムにおけるエネルギー消費量のベンチマークを決定するうえで密接な関係を持っている。

2.3.1 ASHRAE・NECBとLEED

2003年のCaGBC (Canada Green Building Council) 発足以来、LEED CanadaにおいてASHRAE90.1とNECB (National Energy Code For Buildings) は、エネルギー消費量の評価におけるベンチマークとして採用されている。一般に、LEEDにおけるNECBによるエネルギー消費量評価基準は、ASHRAE90.1と比較して厳しいとされている。そのため、建築家、機械技師、デベロッパー等は、ASHRAE90.1を使用するケースが多い。表2.3-1, 2に示すように、LEEDにおけるASHRAE90.1とNECBのエネルギー消費量の評価は、“ENERGY AND ATMOSPHERE”の“Prereq 2-Minimum Energy Performance”及び“Credit 1-Optimize Energy Performance”で使用する。それぞれのエネルギー消費量の評価特徴を下記に記す。

NECB (National Energy Code For Buildings)

- 基準建築物と比較し、新築において23%、改築において19%のエネルギー消費量における金額の低減率を示す。
- 基準建築物におけるエネルギー消費量に関する金額は、シュミレーションモデルによって提示される。
- 計画建築物はNECB 1997のエネルギー建築基準をすべて満足す必要がある。

ASHRAE 90.1-2007, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings

- 基準建築物と比較し、新築において10%、改築において5%のエネルギー消費量における金額の低減率を示す。
- 基準建築物におけるエネルギー消費量に関する金額は、ASHRAE 90.1-2007の推奨しているシュミレーションモデルによって提示される。

- 計画建築物はASHRAE 90.1-2007のエネルギー建築基準をすべて満足する必要がある。特に、運用エネルギー消費量に関する消費金額との関わりを明確に提示する。

表 2.3-1 必須項目における ASHRAE90.1 及び NECB におけるエネルギー消費量の評価

ASHRAE90.1		NECB	
新築	改築	新築	改築
10%	5%	23%	19%

出典：CGBC(文献 4)

表 2.3-2 エネルギー改善における ASHRAE90.1 及び NECB におけるエネルギー消費量の評価

ASHRAE90.1		ポイント		NECB		ポイント	
新築	改築	新築	改築	新築	改築	新築	改築
12%	8%	1	3	25%	21%	1	3
14%	10%	2	4	27%	23%	2	4
16%	12%	3	5	28%	25%	3	5
18%	14%	4	6	30%	27%	4	6

出典：CGBC(文献 4)

2.3.2 省エネルギー基準とCASBEE

CASBEEの“LR1エネルギー”における“1. 建物の熱負荷抑制”及び“3. 設備システムの高効率化”においてエネルギー評価は、省エネルギー基準を用いて行われており、2014年度における省エネルギー基準の改定により、CASBEE(2014年度版)も新しい省エネルギー基準によって評価されている。省エネルギー基準を用いての評価は大きく分けて非住宅と住宅建築物に大きく分けられる。“1. 建物の熱負荷抑制”及び“3. 設備システムの高効率化”によるエネルギー評価の詳細を下記に示す。

● 建物の熱負荷抑制

表2.3-3に示すように、非住宅は省エネルギー基準で扱う性能基準（PAL*値）を年間熱負荷の基準BPIに換算し評価する。

$$BPI = \text{設計}PAL^* / \text{基準}PAL^*$$

なお、延床面積5,000㎡以下の新築建物に関しては、モデル建物法による年間熱負荷の基準BPI_m¹⁾で評価可能である。住宅では、省エネルギー基準及びこれらの基準を用いた品確法における日本住宅性能表示基準（平成26年2月改正）に従い、外皮の熱性能を「建物外皮の熱負荷抑制」の項目において評価を行う。また、住戸毎に省エネ

ルギー基準が異なる場合は、各々該当レベルの等級の住戸数按分にて評価してよいとされている。

表 2.3-3 CASBEE におけるにおける BPI を用いたエネルギー消費量の評価

用途	事・学・物・飲・会・病・ホ	
	[BPI]での評価	
	1～7 地域	8 地域
レベル 1	レベル 1: [BPI] ≥ 1.03	レベル 1: [BPI] ≥ 1.03
レベル 2	レベル 2: [BPI] $=1.00$	レベル 2: [BPI] $=1.00$
レベル 3	レベル 3: [BPI] $=0.97$	レベル 3: [BPI] $=0.97$
レベル 4	レベル 4: [BPI] $=0.90$	レベル 4: [BPI] $=0.93$
レベル 5	レベル 5: [BPI] ≤ 0.80 なお、各レベル間は BPI により、小数点一桁までの直線補間で評価する	レベル 5: [BPI] ≤ 0.85 なお、各レベル間は BPI により、小数点一桁までの直線補間で評価する
	モデル建築法 [BPI] での評価 (建築物全体の床面積の合計が 5,000m ² 以下の場合)	
レベル 1	$1.00 < [\text{BPI}_{\text{m}}]$	$1.00 < [\text{BPI}_{\text{m}}]$
レベル 2	$0.97 < [\text{BPI}_{\text{m}}] \leq 1.00$	$0.97 < [\text{BPI}_{\text{m}}] \leq 1.00$
レベル 3	$0.90 < [\text{BPI}_{\text{m}}] \leq 0.97$	$0.93 < [\text{BPI}_{\text{m}}] \leq 0.97$
レベル 4	$[\text{BPI}_{\text{m}}] \leq 0.90$	$[\text{BPI}_{\text{m}}] \leq 0.93$
レベル 5	(該当するレベルなし)	(該当するレベルなし)
用途	住	
レベル 1	日本住宅性能表示基準「5-1 断熱等性能等級」における等級 1 に相当	
レベル 2	日本住宅性能表示基準「5-1 断熱等性能等級」における等級 2 に相当	
レベル 3	日本住宅性能表示基準「5-1 断熱等性能等級」における等級 3 に相当	
レベル 4	(該当するレベルなし)	
レベル 5	日本住宅性能表示基準「5-1 断熱等性能等級」における等級 4 に相当	

1) BPI (Building PAL* Index) とは2013 年の省エネ法改正に伴い設けられた年間負荷係数PAL*により算出される年間熱負荷の基準。従来、1. 建物外皮の熱負荷抑制において用いられてきたPAL 低減率と同様にPAL*低減率を定義すると、BPI は下記のように表される。

出典：CASBEE(文献 5)

● 3. 設備システムの高効率化

省エネルギー基準に規定される各設備システムの一次エネルギー消費量で評価する場合に適用する。BEI値は（Building Energy Index）平成25年省エネルギー基準における設備システム全体の一次エネルギー消費量の計算結果を準用した統合的な指針であり，基準となる設備システムの一次エネルギー消費量に対し，設計した設備システムにおける一次エネルギー消費量の消費割合を表すものである。

表 2.3-4 CASBEE における BPI を用いた設備システムのエネルギー消費量の評価

用途	事・学・物・飲・会・病・ホ・工・住（共用部分）
レベル 1	レベル 1: [BEI 値] ≥ 1.10
レベル 2	レベル 2: [BEI 値] $= 1.05$
レベル 3	レベル 3: [BEI 値] $= 1.00$
レベル 4	レベル 4: [BEI 値] $= 0.90$
レベル 5	レベル 5: [BEI 値] ≤ 0.70 なお、各レベル間は BEI により、小数点一桁までの直線補間で評価する

出典：CASBEE（文献 5）

2.4 環境製品宣言 (EPD) と建築物総合環境性能評価システム

欧州で開発・発展した環境製品宣言（EPD）は，北米，アジア等でその認知度が徐々に上昇している。この節では，環境製品宣言（EPD）と建築物環境評価ツールの評価に与える影響を考察する。

2.4.1. 環境製品宣言（EPD）（文献 9）

環境製品宣言（EPD）は，LCAに基づく環境情報をリーフレット形式で公開するもので，消費者や使用者に製品のライフサイクルを通じた環境影響の情報を提供することにより，消費者や使用者が自ら選択的に環境に配慮した製品を購入することができる。環境製品宣言（EPD）が含むべき情報の例として，以下のものがあげられる。

- 製造業者・輸入業者・卸売業者及び企業または組織による環境活動に関する情報

- 製造工程または付帯サービス活動に関する情報
- 商品の内容物に関する情報
- 材料及びエネルギーの流れに関するインベントリーデータの情報
- 潜在的環境影響に関する情報
- 付帯サービス、保守、リサイクルに関する情報
- 認証手続に関する情報

国際標準化機構（ISO）は、市場主導の継続的な環境改善の可能性を喚起することを目的に、環境表示に関する国際規格として「環境ラベル及び宣言（Environmental labels and declarations）」シリーズを発行している。「環境ラベル及び宣言」には3つのタイプがあり、それぞれの定義や要求事項が定められている（表2.4-1）。

環境製品宣言（EPD）は、国際標準化機構（ISO）が定める環境宣言タイプIIIの認証プログラムとして世界的にも先駆的な存在で、1998年から現在に至るまで、電気・電子機器、化学、食品、建材等、幅広い産業で第三者認証機関による審査登録がなされている。ノルウェーでは2002年にノルウェーEPD基金が、ドイツでは2007年にGerman Institute for Construction and the Environment（IBU）が、カナダでも2011年にFPInnovationsがこの任についている。環境製品宣言（EPD）は、LEEDv4の評価法に取り入れられた影響もあり、カナダの環境ラベルとして浸透してきている。以下に、日本における主な環境ラベルをまとめる。

エコリーフ（文献 11）

製品の原料、製造、流通、使用、廃棄・リサイクルの全段階を通じた環境負荷を定量的に評価し、その環境負荷を消費者に伝えるための環境ラベル。ISO の環境ラベルのタイプIII*1 に分類される。環境製品宣言（EPD）同様に、LCA の考え方に基づくもので、製品の誕生から消滅までに消費した全エネルギーを算定し、CO₂ 量換算して環境負荷を評価をする。経済産業省所管の社団法人産業環境管理協会（JEMAI）が認定作業を行っており、2002 年より運営されている。登録されている製品は、一般消費者が利用するもの（電化製品等）は少なく、光学機器メーカーを中心とした OA 機器に多く認定されている。

エコマーク(文献 11)

環境保全に役立ち、環境への負荷が少ない商品のための目印である。消費者が、暮らしと環境との関係について考えたり、環境に配慮された商品を選ぶための目安として役立てられることを目的としている。ISO の環境ラベルのタイプ I*2 に分類される。環境省所管の財団法人日本環境協会によって 1989 年に制定された。

省エネラベル(文献 11)

家電製品の省エネ性能について、同種製品内での相対的性能を多段階評価を付した表示ラベル。ISO の環境ラベルのタイプ II*3 に分類される。経済産業省資源エネルギー庁所管の財団法人省エネルギーセンター（ECCJ）が運営しており、2000 年 8 月に JIS 規格として導入された。

表 2.4-1 国際標準化機構（ISO）によって規格化されている「環境ラベル及び宣言」

ISO における該当規格 (採択年) 及び名称		特徴	内容
ISO14020 : 1998 環境ラベル及び宣言 — 一般原則		指導原則	<ul style="list-style-type: none"> ISO14020 番台の他の規格（タイプ I、II、III）とともに使用することを要求 認証・登録のためには使用できない 備考：ISO14020:1998 を JIS Q 14020 として 1999 年に制定。ISO14020:1998 は 2000 年に軽微な改訂。
タイプ I	ISO14024 : 1999 環境ラベル及び宣言 — タイプ I 環境ラベル表示 — 原則及び手続き	第三者認証による環境ラベル	<ul style="list-style-type: none"> 第三者実施機関によって運営 製品分類と判定基準を実施機関が決める 事業者の申請に応じて審査して、マークの使用を認可 備考：日本では JIS Q 14024 として 2000 年に制定
タイプ II	ISO14021 : 1999 環境ラベル及び宣言 — 自己宣言による環境主張 — (タイプ II 環境ラベル表示)	事業者等の自己宣言による環境主張	<ul style="list-style-type: none"> 自社基準への適合性を評価し、製品の環境改善を市場に対して主張する 製品やサービスの宣伝広告にも適用される 第三者による判断は入らない 製造業者、輸入業者、流通業者、小売業者、その他環境主張から利益を得るすての人が行える 備考：日本では JIS Q 14021 として 2000 年に制定。 ISO14021 は、2011 年 12 月に追補採択（ISO 14021:1999/Amd. 1:2011）
タイプ III	ISO14025:2006 環境ラベル及び宣言 — タイプ III 環境宣言 — 原則及び手順	製品のライフサイクルにおける環境負荷の定量的データの表示	<ul style="list-style-type: none"> 合格・不合格の判断はしない 定量的データのみ表示 判断は購買者に任される 備考：日本では JIS Q 14025 として 2008 年に制定。

出典：(文献 11)

2.4.2. 製品分類別基準（PCR）

環境製品宣言（EPD）におけるLCA情報開示の信頼性を高めるための重要な仕組みの1つが製品分類別基準（PCR，Product Category Rule）である。国際規格ISO14025（2006年発行予定）において、環境製品宣言（EPD）及びエコリーフをはじめとするタイプⅢ環境宣言のプログラムには、利害関係者の討議を経て製品分類別基準を作成し、それを踏まえて環境宣言を開示することが求められている。企業間などの合意形成のもとに作成される基準を用いる点で、環境製品宣言（EPD）は企業独自のLCAと異なるのである。環境製品宣言（EPD）の製品分類別基準は業界団体、企業など利害関係者が討議の上で基準案を作り、学識経験者、消費者団体代表、LCA専門家などの有識者で構成される委員会にて審議・承認される。

製品分類別基準の主な目的は2つある。ひとつは、LCA情報に付随する多くの前提・仮定条件を読み手に対してLCA情報と一緒に開示することである。エコリーフ情報は製品分類別基準と対になっており、読み手は必要に応じて各ラベルに対応する製品分類別基準をホームページ上で参照することができる。

もうひとつの目的は、LCA手法などの共通化である。サプライチェーンにおいてLCA情報の共有性を高めること、あるいは複数製品の環境製品宣言（EPD）を見るときに読み手の混乱を防ぐことなどの観点に立つと、一般的には製品分類ごとにLCA手法やバックグラウンドデータなどを共通化しておくことが望ましいといえる。例えば、直接収集データの領域を固定、バックグラウンドデータは特定の共通原単位のみに限定、物流や廃棄リサイクルのシナリオを一つに限定、などの強い共通化を行うとすれば、異なる製品ラベル上のデータの差異が直接収集データに由来したものであることが明確になる。しかし、このような強い共通化は製品環境情報のためには必ずしも得策ではない。なぜなら、共通化が強いほど個々の製品ライフサイクルの実体と共通ルールとの間の乖離の度合いが製品ごとにばらばらになってしまい、企業の環境配慮が共通ルールにしばられて表現されないことになりかねないからである。逆に、これらの共通ルールをなくして、自由な基準でラベル作成できるとした場合には、個々の製品において環境配慮に応じたきめ細かい数値表現ができるかもしれない。しかし、この場合には製品ラベルのデータ差異の要因が多くなるためその解釈が難しくなる。つまり、LCA手法やバックグラウンドデータの共通化とLCAの詳細な表現性は、一面ではトレードオフの関係でありどこにバランスを置くかと

いう調整が必要となる。環境製品宣言（EPD）では、製品分類基準の策定プロセスを通じてこの調整を行っており、基準の改訂を通して、製品技術動向、LCA研究動向や社会のニーズなどを反映させることが可能である。

2.4.3. 環境製品宣言（EPD）と建築材料

環境側面を全体的に評価、表示できる環境製品宣言（EPD）は建築素材における環境認証システムとして急速に普及している。環境製品宣言（EPD）が必要とされる大きな理由は2つ挙げられる。

- 環境に配慮していることを主張しながら、事実を偽装・隠蔽している建築材料の排除（グリーンウォッシュ）
- 建築物総合環境性能評価システムにおける環境製品宣言（EPD）位置づけの向上

グリーンウォッシュとは、環境に配慮していることを主張しながら事実を偽装する行為をしめす。TEM(Terra Choice Environmental Marketing)が2010に行ったアメリカ、カナダの小売店34店舗、約5,300品目の日用品を対象にした調査によれば環境に良いとされた品目のうち、その主張がグリーンウォッシュに当たらない正当なものは5%に満たないとしている。ほとんどの商品が、表2.4-2に示す「7つの罪」のどれかに当てはまる。

表 2.4-2 グリーンウォッシュにおける7つの罪

罪	説明
①隠されたトレードオフ	狭い範囲の商品属性だけに限定してグリーン性を主張する一方で別の面で発生する環境影響の問題に触れていないこと。例) 森林認証の塩素漂白紙
②証拠無し	一般にアクセスできない情報によりグリーン性を主張。第三者の信認もない。例) 100%再生紙
③曖昧	定義が不明確で消費者に間違った認識を与えがち。例) 自然素材、健康住宅
④嘘のラベル	言葉やイメージから虚偽に第三者認証の印象を与えること。例) 100%再生紙
⑤見当違い	主張は真実でも消費者の商品選択を助けない。例) フロンガス不使用、合法木材
⑥悪間の比較	製品範疇では正しい主張でも、製品そのものにリスクがある。例) 有機栽培タバコ
⑦小さな嘘	単純に嘘の情報発信。自己主張。例) アメリカ、エネルギースター

出典：(文献 14)

グリーンウォッシュの蔓延は、日本でも同様であり、こうした危険性を回避する意味で欧州を中心に環境影響を総合的、客観的に表示するツールとして EPD が発展し、北米でも拡大しつつある。

もうひとつの理由として、建築物総合環境性能評価システムにおける環境製品宣言 (EPD) の位置づけが向上している。LEED を例に挙げると、これまで “Material & Resources” 部門で資材の産地・加工地を 500 マイル圏内にすることに加えて、資材の 5 割以上を森林認証材とすることでポイントを取得できるシステムがあった。しかし、LEED の新たなポイント制度の導入を考慮しているパイロット・プロジェクト (PR) 43 「認証製品」の中で、森林認証を 1 つの属性に関わる環境認証という範疇に入れ、環境製品宣言 (EPD) が評価重量 200%とされており、森林認証をはるかに上回る形で重視する姿が鮮明になってきている。また、北米をベースにした再生可能産業資材研究協会 (CORRIM: Consortium for Research on Renewable Industrial Materials) では、木材製品に関する大量の LCA データを作成している。CORRIM はカナダの NGO 研究機関の Athena Sustainable Material Institute 等と協同しながら木材代替品との比較を進めている。

2.4.4. 環境製品宣言 (EPD) と CASBEE (文献 11)

CASBEE のすべての項目をレベル 3.0 と仮定し、建築材料による評価だけを最高レベル、「Q-1 室内環境」の「音環境」は 4.2 に、「温熱環境」は 3.2 に、「空気質環境」は、3.6 まで上がる。さらに「Q-3 室外環境 (敷地内)」については、3 項目とも 4.0 まで上がる。一方、環境負荷軽減性能でも「LR-1 エネルギー」の「建物の熱負荷」「自然エネルギー」では、断熱サッシなどを採用することで、最高の 5.0 が取れる。「LR-2 資源・マテリアル」では「低環境負荷材料」が 4.7、「LR-3 敷地外環境」では「光害」「ヒートアイランド化」が各 4.0 まで上昇する。

これらを BEE チャートに落とし込むと、本来 BEE 値 1.0 の建物が、2.5 までアップする。つまり、建築材料で A ランク上位のレベルに評価を引き上げることが可能である。一般的に、運用エネルギー削減のため設備投資における CASBEE のスコア向上をアピールしている。しかし、同じことは建材についても当てはまることがいえる。環境製品宣言 (EPD) の採用による CASBEE スコアの向上性が、デベロッパーや設計事務所などへの説得材料になる可能性があると考えられる。

CASBEE「LR-2 資源・マテリアル」の“2.3 躯体材料におけるリサイクル材の使用”，“2.4 非構造材料におけるリサイクル材の使用”の項目において建築材料における評価対象は“（財）日本環境協会が認定している「エコマーク商品」及び「国等による環境物品等の調達の推進等に関する法律（グリーン購入法）平成 12 年 5 月制定）」で定められている「特定調達品目」の内，非構造材料でリサイクル資材のものとする。”と示されている。CASBEE において建築材料のライフサイクル CO₂ 評価の基本的考え方は，以下の 2 つがあげられる。

- 評価作業にかかる負担をできるだけ軽減するために，ライフサイクル CO₂ 算定のためだけの情報収集や条件設定を必要とせず，CO₂ 排出に特に関係する CASBEE 従来の評価目的の結果から自動的に計算される方法で評価する。これを「標準計算」と呼ぶ。
- 「標準計算」では評価対象が評価可能でかつ重要な項目に絞られるため，ライフサイクル CO₂ に関する取組みの全てが評価されることにはならないが，CO₂ 排出量のおよその値やその削減の効果などをユーザーに知ってもらうことを第 1 の目的としてライフサイクル CO₂ を表示することとする。

ここで述べられているように，「標準計算」という概念は EPD といった世界的に統一されつつある建築材料の LCA 表示システムに適応すると考えられる。建築物総合環境性能評価システム同士の統一性を考えると実際に LEED でも使用されているように，今後の CASBEE における建築材料の LCA 評価の一つの可能性を秘めていると考えられる。

2.4.5. 環境製品宣言（EPD）と LEED

LEEDv4 における「建築材料・資源」の割合は，全体の 100 ポイント中の 13 ポイントを占める。これは，エネルギー・大気の 33 ポイントそして，敷地・交通/室内環境の 16 ポイントに次いで 4 番目に大きい項目である。LEED 2009 と比べて 1 ポイント減少したものの，新しいカテゴリーが 2 項目増えた。図 2.4-1 に示すように，LEEDv4 の大きな改良点は，大きく 3 つの点があげられる。

- 原材料—再生サイクルの早い循環性木材の含まれた木材といった特定の物だけではなく，コンクリート，スチール，タイル，といった建築材料に含まれる原材料の評価

- 建築製品－EPD を使用した建築製品製造過程における詳細な情報
- 設計・建設－建築物全体の LCA

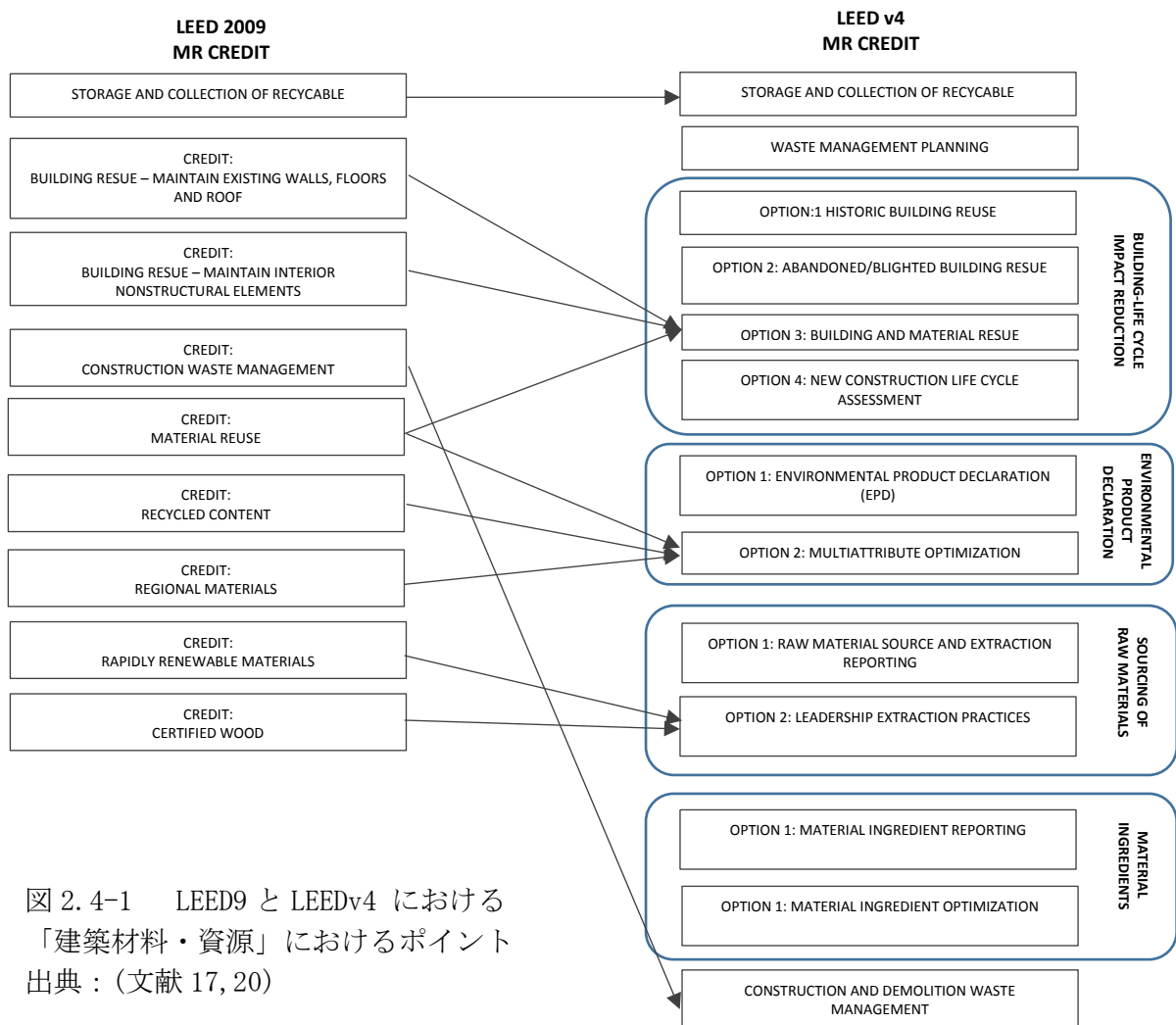
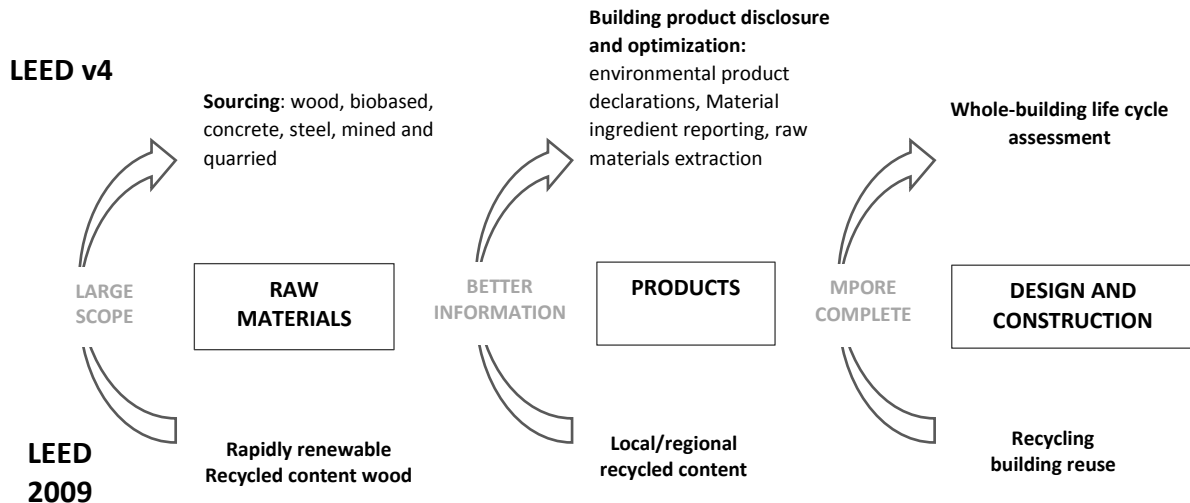


図 2. 4-1 LEED9 と LEEDv4 における
「建築材料・資源」におけるポイント
出典：(文献 17, 20)

図 2.4-1 に示すように、LEEDv4 では特に「材料と資源」において多くの改善点が見られる。LEED 2009 においては“リサイクル”という表現を多く使用していたが、実際のリサイクル建築材料が製造過程において普通の建築材料よりエネルギー消費量または CO₂ 排出量のうえで効率的であるかは疑問である。

LEEDv4 において、MRc:2 Building Product Disclosure and Optimization: Environmental Product Declaration が追加された。MR クレジット 2 の目的は、「ライフサイクルアセスメントの情報が提供されているだけでなく、環境的、経済的、そして社会的に望ましい建築製品や材料の使用」を推進することである。この MR クレジット 2 は以下の 2 つの異なるポイントによって構成されている。

OPTION 1：環境製品宣言（EPD）

使用されている 20 種類の建築製品・材料が少なくとも以下の 5 つの製造過程を見なしていること及び、固有の環境製品宣言—建築製品・材料は ISO14044 に準拠したライフサイクルアセスメントを使用し、少なくとも製品の四分の一は工場での原材料入手から製品出荷（cradle to gate scope）までのライフサイクルアセスメントの評価。

- 1) 環境製品宣言（EPD）—ISO 14025, 14040, 14044 と EN 15804 または ISO 21930に準拠して、少なくとも工場での原材料入手から製品出荷（cradle to gate scope）までのライフサイクルアセスメントの評価。
- 2) 産業標準EPD—外部から認証されたサードパーティの証明(III 型)による建築製品・材料で、製造元がプログラムオペレーターによって明示的に認識された建築製品・材料を1/2使用していること。
- 3) 製品固有別Type3EPD—外部から認証されたサードパーティの証明(III 型)による建築製品・材料で、製造元がプログラムオペレーターによって明示的に認識された建築製品・材料を1/2使用していること。
- 4) USBC 承認プログラム - USBCが承認している環境製品宣言（EPD）の建築製品・材料。

OPTION 2：多属性の最適化

プロジェクトの総建築製品・材料コストの 50%使用されている建築製品・材料が下記の条件のいずれかに準拠している製品。

1) サードパーティによって認証(III 型)された建築製品・材料において以下の 3 つの項目が産業標準以下であることを証明する。

- 地球温暖化ポテンシャル CO₂e (温室効果ガス)
- フロン 11 kg で、成層圏オゾン層の破壊
- モグラ H + または kg SO₂ の土地と水の源の酸性化
- 富栄養化, kg の窒素やリン酸 kg
- kg NO_x または kg エテンの対流圏オゾンの形成
- MJ のエネルギー資源の枯渇

2) USBC承認プログラム - USBCが承認している環境製品宣言 (EPD) の建築製品・材料。

オプション 1 は単純で理解しやすく、少なくとも 20 の建築製品は環境製品宣言 (EPD) の製品を使用している必要がある。このポイントの焦点は、LCA の基本的な ISO14044 ライフサイクルアセスメントよりも、ISO14025 の環境製品宣言 (EPD) に与えられており、またこの 20 製品の環境基準値を維持するため他に 4 つの方法を与えられている。環境製品宣言 (EPD) のための製品分類別基準 (PCR, Product Category Rule) は、一般的に標準化されたフレームワークの範囲内であることが前提である。

オプション 2 は、その評価基準が固化する前におそらくより多くの改訂が必要になると予測される。“マルチ属性の最適化”と呼ばれるこのオプションは、製品が業界平均以下の LCA への影響の削減を持っているか否かを、USGBC 認定のプログラムを介して認定されている必要がある。しかし、この適合性経路が確定する前に、評価経路の整備する必要がある。プログラムの信用性、LCA のベンチマークの設定、環境製品宣言 (EPD) とのかかわり等、この“マルチ属性の最適化”とよばれる認証は一般的では無いといわれている。

2.5 建築材料LCAと建築物総合環境性能評価システム

LCA（ライフサイクルアセスメント）評価は、LEED・CASBEE等の建築物環境評価ツールにおいて改定ごとにその重要度が増してきている。また同時に、LCAの評価作業は膨大な時間と手間を必要とするため、LEED・CASBEEの開発理念である簡便性が損なわれる恐れがある。そこで、多種多様な建築物環境評価ツールで併用できる情報の収集やLCA評価条件の設定を整備する必要がある。

カナダ・日本の建築物に使用される建築主要材料のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を産業連関表を使って分析・整備することにより、両国の建築材料におけるLCA（ライフサイクルアセスメント）分析のソフトウェア・データベース等の発展を促し、建築物の建設段階でのエネルギー消費量・CO₂排出量を設計段階でより効果的に把握することが可能になると考える。本節では、両国の建築材料におけるLCA（ライフサイクルアセスメント）分析のソフトウェア・データベース等を明確にする。

2.5.1 CASBEEと建築材料LCAデータベース

CASBEEにおけるLCAの評価は、LEEDに比べて開発の初期段階から明確に評価方法が解説されている。CASBEEにおけるLCAの評価方法を下記に示す。

- 標準計算－評価対象を評価可能でかつ重要な項目に絞り、ライフサイクルCO₂に関係するCASBEE従来の評価項目の結果が自動的に計算される方法。CO₂排出量のおよその値やその削減の効果などを利用者に認識させる目的を重視。
- 個別計算－評価者がLCAソフトウェア等を用いて、詳細のデータ収集と計算を行い精度の高いLCCO₂の算出を行う。

標準計算の場合、ライフサイクルCO₂計算シートの解説にもとづいて計算過程を表示し、建設段階、修繕・更新・解体段階、運用段階の各段階について「参照値」と「評価対象」のCO₂排出量がkg-CO₂/年m²で表示される。また、標準計算・個別計算共にLCCO₂算定条件シートに代表的な資材や量や環境負荷原単位、エネルギーのCO₂排出係数等が計算根拠として表示される。CASBEEにおける「標準計算」及び「個別計算」どちらのLCA評価方法における整備・発展において、建築主要材料のLCAデータベースの整備・発展は必要不可欠である。以下に、主要なLCAデータベース及びLCAソフトウェアについて分析する。

LCA日本フォーラム(文献10)

経済産業省ならびにNEDO技術開発機構の推進52工業会から自主的に提供された「Gate to Gate」のインベントリデータ約250品目と、LCAプロジェクトで収集した調査インベントリデータ約300品目。経済産業省ならびにNEDO技術開発機構の推進の平成10年度から平成14年度にかけて実施した5ヵ年の「第1期LCAプロジェクト」の成果であり、平成15年度に期間限定で会員登録制の試験公開を実施した。このデータベースは、インベントリ分析用データ、インパクト評価用データ、および、文献データから構成されている。

MiLCA（ミルカ）(文献17)

MiLCA（ミルカ）は、産業環境管理協会によって開発されたLCA（ライフサイクルアセスメント）実施を支援するためのシステムである。プロセスデータを管理し、LCAケーススタディを実施するまでの基本的な機能が搭載されていて、3000以上のプロセスデータを標準搭載することにより簡易にLCAができるようになっている。MiLCAの開発コンセプトは、「ライフサイクルを通じた環境負荷の見える化」にあり、環境改善活動を実施する場合における効果的な改善ポイントを抽出し、改善効果を定量的に把握を支援する目的で開発された。特に、そこでMiLCAではライフサイクル全体を考える上で重要である「a. 信頼性の高い企業間データ授受の支援」「b. 二次データの充実」を目標に開発された。

2.5.2 LEEDと建築材料LCAデータベース

LEEDにおける建築物全体のLCA評価の導入は、CASBEEに比べると非常に遅れていると考えられる。LEEDにおけるLCA評価の導入は、2014年度版のLEEDv4によって始めて確立された。LCA評価の導入が遅れた主な理由として以下が挙げられる。

- 建築製品におけるLCAの情報・データの整備不足による信頼性の欠如
- LCA評価に関するソフトウェアの開発
- カナダで採用されているASHRAE等の省エネルギー法による運用エネルギー消費量の重要性
- LCA評価における作業の負担や手間によるLEEDの簡便性の欠如

しかし、LEEDv4におけるLCA評価の導入の大きな理由として北米における環境製品宣言（EPD）の浸透と発展が重要な役割を果たしていると考えられる。環境製品宣言（EPD）により、建築製品に対するLCA評価に関する情報・データが整備され、LCAの優れた建築製品を使用することができるようになったことが大きいと考えられる。次に、LEEDv4におけるLCAソフトウェアを以下に考察する。

ATHENA SUSTAINABLE MATERIALS INSTITUTE（アテナ）

ATHENA（アテナ）の基礎は、カナダの木材製品研究所（Canada's national wood products research institute）のForintek Canada Corp（現在 FPIInnovations）で1989年に始まったデータベースを基に開始され、アテナ研究所建設資材及び建築システム上のLCA研究を実施する非営利の会員組織として1997年に設立された。現在、ATHENAは、建築材料の生産そして消費の増加にともない建築家、エンジニア、建設業者や製造業者へのLCA支援、ソフトウェア開発などを行う非営利の研究機関である。

LCA ソフトウェア：Impact Estimator and the EcoCalculator(文献13)

Athena Sustainable Materials Institute（アテナ）は、公共・住居建築物の建築材料に関連したLCAデータやソフトウェアツールを開発している非営利研究機関である。主なソフトウェアとしてImpact Estimator（インパクトエスティメーター）とEco Calculator（エコカリキュレーター）の2つがLCA分析ソフトウェアとして存在する。Eco Calculatorは、基本的なLCAデータ分析は変わらないものの、建築素材の選択はデータベースのみからで、独自の建築素材を設計する上で限界があるため、Impact Estimatorに比べると初歩的なLCAツールとしていえる。また、Eco Calculatorは、Green Building Initiative（グリーンビルイニシアティブ）が開発した建築材料LCA分析ソフトウェアGreen Globes rating（グリーングローブ）と共同開発されたものだが、Green Globes ratingにおけるLCA分析データシステムがよりAthenaのImpact Estimatorと併用して使用されるようになったため、Athenaは、ユーザーにImpact Estimatorの使用を強く促している。そのため、次の節ではAthenaのLCA分析ソフトウェアImpact Estimatorのみ概要を示す。

Impact Estimator (文献13)

Impact Estimatorは、工業、機関、商業及び住宅のデザイン段階で北米の建築基準法規に適応したLCAの見積もり及び分析が可能であり、現存する95%の建築物をモデル化することができる。Impact Estimatorは、建築物のLCAを下記の7つの分野に分割し、それぞれの環境評価を行う。

- 建築素材の製造（資源の抽出、リサイクルの内容材料を含む）
- 建築素材輸送
- 建築工事
- 建築現場のエネルギー利用、交通、その他の要因
- 建築物の形式と想定寿命
- 建築物の維持や交換の効果
- 解体と廃棄

Impact Estimatorには、運用エネルギーの分析は含まれていないが、他のLCAソフトウェアと併用して分析が可能である。Impact Estimatorは、様々な建築材料と建築構造の組み合わせにより、1,500以上の建設様式をデザインすることが可能で、北米の現存する95%以上の商業・住宅建築物に適応することができる。建築様式は、大きく基礎、壁、床、そして柱・梁の4つの建設構造分野に分かれており、各分野ごとに建築様式が列举されている。また、主な建築材料は、コンクリート、鋼鉄、木材、外壁材、断熱材、塗装材、内装材、屋根材、窓、などに分かれている。この基本建築様式に多種多様な建築形態及び建築材料を独自に組み合わせることによって、様々な建築物のLCA分析が可能である。

Impact Estimatorは、2002年にカナダ全地域の建築物のLCA分析のために開発されたもので、その後、アメリカの各都市もImpact Estimatorのデータベースの中に加えられた。各地における建築材料市場調査が行われ、各建築材料の生産場所や流通手段を明らかにし、その平均をデータベースに加えている。また正確かつ一貫性のある国際的なデータの不足のため、鋼鉄などのすべての海外製造製品は、北米で生産されたものとしている。

2.6 まとめ

本章では、建築物の LCA・建築物総合環境性能評価システムの発展に伴う建築物の建設に伴うエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の整備の重要性を説いた。また、建築物総合環境性能評価システムと併用して使用されるカナダ・日本の省エネルギー法及び建築材料 LCA データベース等を紹介すると共に、建築物の建設に伴うエネルギー消費量と CO₂ 排出量の比較・分析の重要性を説いた。下記に、第 2 章を要約する。

- 1) 建築物の LCA・建築物総合環境性能評価システム・省エネルギー法による評価は、運用エネルギー消費量に重点が置かれているため建築物における運用エネルギー消費量の大幅な改善がみられる。これに伴い、建築材料の生産・運搬などに伴うエネルギー消費量の評価の割合は今後重要な課題とされるため、エネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の整備が必要であると考えられる。
- 2) 建築物総合環境性能評価システムの評価における環境製品宣言（EPD）の重要性に伴い、エネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の整備と共に環境製品宣言（EPD）の重要性が高まっている。
- 3) 建築物総合環境性能評価システムにおける LCA 評価の重要性が高まる中、エネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の整備は重要といえる。

第2章 参考文献

- 1) 清水千弘：環境と不動産投資-第二回環境配慮型建築物の経済価値，東京大学・空間情報科学研究センター・ディスカッションペーパーNo.106，2010，
(http://www.tokiomarine-pim.com/market/report/report_100618.pdf)
- 2) Richard Reed, Sara Wilkinson, Anita Bilos, Karl-Werner Schulte:A
Comparison of International Sustainable Building Tools-An Update, The
17th Annual Pacific Rim Real Estate Society Conference, Gold Coast,
January 2011. (http://www.prres.net/Proceedings/..%5CPapers%5CReed_International_Rating_Tools.pdf)
- 3) BREEAM, BREEAM New Construction, Non-Domestic Buildings (http://www.breeam.org/breeamGeneralPrint/breeam_non_dom_manual_3_0.pdf)
- 4) Canada Green Building Council, LEED v4 (<http://www.cagbc.org/leedv4>)
- 5) CASBEE, CASBEE - 建築(新築) , (http://www.ibec.or.jp/CASBEE/cas_nc.htm)
- 6) 堀 正弘：建築物の環境性能評価の現状と今後の展望，2010，(http://www.minto.or.jp/print/urbanstudy/pdf/u51_04.pdf)
- 7) ASHRAE：ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2013, Energy Standard for
Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, (<https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/standard-90-1>)
- 8) National Research Council Canada: National Energy Code of Canada for
Buildings 2011, (http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/publications/codes_centre/2011_national_energy_code_buildings.html)
- 9) EPD, <http://www.environdec.com/>
- 10) LCA 日本フォーラム：インベントリデータベース動向調査報告書，2013，
(http://lca-forum.org/researchdb/pdf/h24_jlca_db.pdf)
- 11) 環境省：環境表示ガイドライン，2013，(<http://www.env.go.jp/press/files/jp/10742.pdf>)
- 12) Ilish Green Building Council: Measuring the sustainability of our
Construction Products and Materials, 2012

- 13)ATHENA-Sustainable Material Institute, Impact Estimator and the EcoCalculator, (<http://www.athenasmi.org/our-software-data/overview/>)
- 14)根本昌彦：木材認証としての環境製品宣言（EPD）の展開 - グリーンウォッシュと森林認証制度の狭間で, (<http://www.foreststudy.com/home/2016/1.html>)
- 15)Green Star, Green Star Rating Tools, (<https://www.gbca.org.au/green-star/rating-tools/>)
- 16) (財)建築環境・省エネルギー機構：地方公共団体における CASBEE の導入状況, 2011 (http://www.ibec.or.jp/CASBEE/documents/CASBEE_local_government_110509.pdf)
- 17)UCGBC, LEED v4, (<http://www.usgbc.org/leed/v4/>)
- 18)産業環境管理協会, MiLCA, (<http://www.milca-milca.net/products/outline.Html>)
- 19)伊香賀 俊治：CASBEE の基本的な考え方、評価方法, 2007 (http://www.kenzai.or.jp/kouryu/kouryu_20.html)
- 20)LEED 2009 vs LEED v4 Credit Comparison Flowcharts, (<http://danieloverbey.blogspot.ca/2012/11/leed-2009-vs-leed-v4-credit-comparison.html#!/2012/11/leed-2009-vs-leed-v4-credit-comparison.html>)

第3章 エネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の分析方法

3.1 概要

本章では、海藤による既往の研究[1]を参照し本研究のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の分析方法の概要を示した。エネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の分析方法には、「積み上げ法」と「産業連関分析法」の大きく2つに分けられる。本研究では、カナダ・日本の建築物の建設に伴う主要材料のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を求めるため「産業連関分析法」を使用する。

3.2 積み上げ法

積み上げ法は、LCA(ライフサイクルアセスメント)におけるインベントリ分析の基本的な手法として用いられる。積み上げ法では、LCAの対象となる製品プロセスについて原材料やエネルギー使用量および環境負荷排出量を直接調査し、対象となる製品プロセスを構成する工程で各データを積み上げていく。積み上げ法では、LCAの対象となる製品プロセスについて原材料やエネルギー使用量および環境負荷排出量を直接調査し、対象となる製品プロセスを構成する工程で各データを積み上げていく。LCAでは基本的に製品やサービスの提供において利用される資材、エネルギーについて原料を採取し、資源化・製品化され、使用された後、廃棄（又はリサイクル）されるまでに過程をライフサイクルととらえている。ライフサイクルでは、原料採取・資源化、製品化、使用、廃棄等の各ライフサイクル段階に細分化できる。LCAは、基本的に細分化したライフサイクル段階ごとに物資収支や環境負荷量の計算が行われる。ライフサイクル全体ではなくとも、複数のライフサイクル段階について積み上げ法による計算を行い、ライフサイクルのある部分を対象としたLCA原単位を作成することも行われる。現在の我が国でのLCAにおけるインベントリ分析では、検討事項の中でも特に比較したり、詳細化したい部分について積み上げ法によって一次データとしての物資収支データ等を収集した後、LCA原単位を用いて環境負荷量データを計算する手法が主流である。欧米においても検討が進んでおり、現在ISOでは、この積み上げ法を基にISO14040として国際規格化作業が進められている。

積み上げ法は、各プロセスの投入する物質収支量やエネルギー、環境負荷量をリストアップしたものを集計しているため集計値についての精度は高いといえる。し

かしながら、解析者により集計するライフサイクルにおけるプロセスの範囲の設定が異なる場合があり、そのプロセスの設定範囲により集計結果が異なる。また、製品製造に関連する物質は製品によって膨大な数であるため、それらのリストアップやデータの入手が困難である場合がある。さらに、ライフサイクルにおけるプロセスの範囲の設定が広範囲に及べばそれだけデータの入手及び作業量が膨大なものとなり集計が困難となる。さらに、製品製造におけるプロセスにより誘発される物質収支量や環境負荷量などの波及効果に対しては、分析ができないといった特徴を持つ。この手法は、ある特定の技術や製品を分析する場合、あるいは任意のシステムバウンダリを設定して分析を行いたい場合に適している。

3.3 産業連関分析法

産業連関分析法は、統計表である「産業連関表」を基に一般的には経済波及効果を分析する際に用いられる手法である。本研究では、この産業連関分析法を環境分析用産業連関分析として応用する。本節では、産業連関表および産業連関分析の要約について述べる。

3.3.1 産業連関表の概要

産業連関分析法は、多産業部門の相互依存関係を通して経済の循環構造を分析しようとするものである。このモデルは家計、政府、海外需要などの最終需要の水準が国内生産を規定し、産業間の相互依存関係を通して各産業の生産を体系内で決定するという理論体系にもとづく。すなわち、ある産業部門の最終需要が与えられた場合に、産業間の生産波及過程を通じて最終的に産業全体にどれだけ影響を与えるかを、具体的な数値で示すことが可能である。分析の基礎資料となる産業連関表は、一国の経済取引における部門間の投入と産出を行列形式で表示したものである。産業連関表とは1936年、W. レオンチェフによって初めて作成され一国において一定期間に行われた財・サービスの産業間取引を一つの行列の形に示した統計表のことである（表3.3-1）。縦方向には部門ごとに財・サービスの国内生産額とその投入費用構成、つまり生産を行うために投入した費用に関する情報が記述されている。また、横方向には、部門ごとの財・サービスの国内生産額及び輸入額がどの部門でどれだけ

需要されたか、つまり各産業の販路に関する情報が記述されている。このように産業連関表自体から各産業の生産額や一国経済の産業構造を読み取ることができる。

表 3.3-1 産業連関表の構造

供給部門 \ 需要部門		中間需要			最終需要			輸入	国内生産額
		産業A	産業B	産業C	消費	投入	輸出		
中間投入	産業A	X_{11}	X_{12}	X_{13}	C_1	K_1	E_1	M_1	X_1
	産業B	X_{21}	X_{22}	X_{23}	C_2	K_2	E_2	M_2	X_2
	産業C	X_{31}	X_{32}	X_{33}	C_3	K_3	E_3	M_3	X_3
付加価値	雇用者所得	V_{11}	V_{12}	V_{13}	*中間需要と中間投入に囲まれた部分を「内生部門」、付加価値部門と最終需要部門を「外生部門」という。				
	営業余剰	V_{21}	V_{22}	V_{23}					
	その他	V_{31}	V_{32}	V_{33}					
国内生産額		X_1	X_2	X_3					

3.3.2 SNA 産業連関表

産業連関表は、SNA 産業連関表と対称産業連関表の二種類の形式がある。この章では、本研究で使用した SNA 産業連関表の要約を以下に述べる。

産業連関表作成国が増える契機となったのは、1968 年の国連による SNA (System of National Accounts = 国民経済計算体系) の改訂である。この SNA 改訂によって、産業連関表が GDP 統計の基準値と位置づけられ、それを契機に作成国が大幅に増加した。産業連関表の部門数が 400 部門以上は、アメリカ、日本、および韓国が最も多く、それに続くのはカナダとフィリピンで約 250 部門前後である。その他の国は、いずれも 200 部門未満である。

SNAでは、国民所得統計、産業連関表、資金循環表、国際収支表、国民貸借対照表の五つの勘定体系の統合により一国経済におけるモノとカネの循環をフロー量とストック量の両面から記録する。その中で、国民所得統計と産業連関表はモノの流れを記録している。国民所得統計が記録する対象は、産業連関表における最終需要と付加価値の部分に対応する範囲に限られ、一国経済の純成果を明らかにする役割がある。国民所得統計がマクロ的視点から一国経済を分析するのに対し、産業連関分析は部門的な視点から生産構造の側面を究明する役割がある。

表 3.3-2 は、SNA 形式の産業連関表の構成を示している。この表は “Make-Use system” と呼ばれ, “Make matrix” と “Use matrix” の二つの表から構成される。産業連関分析の創始者である経済学者のレオンチェフは、初期の産業連関表においてはすべての生産活動は同質的な産業に分類されるべきであると部門分類について考え作成されていた。しかしながら、企業の生産活動の種類が乏しい時代であれば同質的な生産部門を定義することが困難ではなかったかもしれないが、生産活動が多様化した時代である現代においては同質的な生産部門を定義することが著しく困難である。そのため 68SNA による産業連関表においては、同質的な主生産物以外にも副次的な生産物があるとし、産業分類と商品分類の両者を組み合わせた「二重分類」表示を採用することで技術特性を商品単位でとらえ、その商品の担い手として事業所をもうひとつの統計単位としている。したがって SNA 方式の産業連関表は、産業の商品生産と投入を記述した二つの表により構成された。産業別商品産出表を “Make matrix” または V 表、産業別投入表を “Use matrix” または U 表と呼び、両者を統合して “Make-Use system” と呼ばれている。

表 3.3-2 Make- Use system

	商品	産業	最終需要	産出額
商品	X	U	e	q
産業	V			g
付加価値		y'		
産出額	q'	g'		

X：商品×商品の取引額表、U：産業別商品投入表、V：産業別商品産出表

q：商品別産出額、g：産業別産出額、e：商品別最終需要額

y：産業別付加価値額、'：転置をあらわす

3.3.3 産業連関分析法

産業連関分析法は、産業連関表から算出する逆行列係数が分析の際に重要な係数となる。環境分析用産業連関分析では、この逆行列係数に各産業のエネルギー消費量やCO₂排出量などの環境負荷原単位を乗じることで分析を行っている。

逆行列係数には、いくつかの類型があり、分析目的によって使い分けられる。以下に、主要な3種類の逆行列係数を示す。なお、記号の意味は次の通りである。

X ・・・国内生産 I ・・・単位行列 A ・・・投入係数 F ・・・最終需要
 M ・・・輸入 E ・・・輸出 Y ・・・国内最終需要
 $\bar{\cdot}$ ・・・平均を示す記号 $d\cdot$ ・・・国産品を示す記号

① $(I - A) - 1$ 型・・・最も基本的な型で、投入係数には国産品と輸入品の両方が含まれる。

この逆行列係数を使用して計算した生産誘発額は、国産品と輸入品の両方を国内の生産活動によって生産した場合の生産誘発額を示し、生産技術の分析や、需要予測等に向いている。バランス式は下記の通りである。

$$X = (I - A)^{-1} \times (F - M) \quad (2-1)$$

② $[I - (I - \hat{M})A] - 1$ 型・・・最も一般的に利用される型であり、投入係数から輸入分を除いているので、国内品の投入を通じた生産活動（＝国内生産活動）のみの生産誘発額を計測することができ、国内生産の予測に向いている。

ただし、輸入分を除去するために商品(行)別の輸入係数（輸入額／国内総需要額）を使用しているので、各商品(行)について、どの需要(列)部門においても輸入品使用率が一定との仮定を置いていることになる。バランス式は下記の通りである。

$$X = [I - (I - \hat{M})A]^{-1} \times [(I - \hat{M})Y + E] \quad (2-2)$$

③ $(I - Ad) - 1$ 型・・・国産品と輸入品を完全に区別し、国産品のみの投入係数から逆行行列係数を計算しているので、国内生産誘発額の分析に最も望ましい型である。

しかし、この逆行行列係数を計算するためには、国内品の投入と輸入品投入を分けた「非競争輸入型」の産業連関表が必要になるが、そのような産業連関表を作成している国は少数であり、利用が困難である。バランス式は、下記の通りである。

$$X = (I - Ad)^{-1} \times Fd \quad (2-3)$$

産業連関分析の基本式は、 $X = B \times F$ であり、どの逆行行列係数（B）も、この基本式が満たされるようにX（国内生産額）とF（最終需要額）から事後的に計算されており、 $B \times F$ の合計はXとなる。

産業連関分析を環境分析用に応用した場合の利点は、ある環境負荷がどのようにその環境的影響を広げていくかといった波及効果を定量的に把握できる点である。また、産業連関表を利用することで「カネ」の流れを基に計算を行うため、積み上げ法のような投入物質の項目に対して不足がないといえる。一方で産業部門、商品部門といった部門を対象に分析を行っているため細かな商品のエネルギー消費量原単位に対応することができないという欠点がある。また、産業連関表は一国の経済について記述するものであり、産業連関分析において各部門における分析値は国内の平均の値であるため地域による差が現れない。日本の産業連関表の精度が高いといわれているが国によってその精度があまり良くない場合があり、産業連関表の精度によっては産業連関分析に大きな誤差が発生する場合がある。

3.4 カナダ産業連関表の概要

本論文では、カナダ分析対象のオフィスビルの建設見積りが2004年に実施されたこともあり、2004年版I-O表のW Level（産業286部門、商品713部門）を使用した。カナダでは、カナダ統計局（Statistics Canada）により毎年3年前の産業連関表（I-O Tables）が作成されており、S（Small）、M（Medium）、L（Link）、W（Worksheet）の4段階の分類表がある。一方、日本では5年ごとに産業連関表が作成されており、日本における2004年産業連関表は存在しない。そこで、本論文で

は 2005 年の産業連関表を使用した。カナダの産業連関表は、SNA (System of National Accounts) を採用しており、日本の産業連関表とは作成方法が異なる。日本の I-O 表は「単一分類」で組み上げており、1 つの産業が 1 つの商品を生産、または 1 つの商品は 1 つの産業により生産されるという考え方に基づくが、SNA 産業連関表は「二重分類」で産業分類と商品分類の両者を組み合わせており、1 つの産業が複数の商品を産出するという考え方に基づいている。そのため、SNA 産業連関表は産業部門 (286 部門) と商品部門 (713 部門) を持つ V 表と U 表が存在する。V 表は「経済活動別財貨サービス産出表」で、どの産業がどのような商品を産出するかを示しており、U 表は「経済活動別財貨サービス投入表」で、どんな商品がどのような産業で中間消費されるかを示す。

カナダにおける産業連関表の部門分類は、北米産業分類体系 (North American Industry Classification System, NAICS) に基づく。NAICSは、北米自由貿易協定 (NAFTA) により、米国、カナダ、メキシコの三ヶ国で作成された。1997年に初めて公表されたNAICSは、それまでのSIC (Standard Industrial Classification) と呼ばれる産業分類表を反映した産業分類表である。1930年代から続いてきたSICであるが、現代の産業構造の大幅な変化に対応しきれないという理由から、SICとの継続性を破棄して新たにNAICSが採用された。2002年の改訂版では情報産業について十分に対応できるものへと変更された。NAICSは日本の部門分類と異なるものである。しかしながら、カナダ・日本の産業分類表は、国際標準産業分類22 (International Standard Industrial Classification of All Economic Activities, ISIC) に準拠して作成するように配慮されているため両国の部門比較は可能である。

3.4.1 カナダ産業連関の逆行列係数の算出

分析に用いる2004年次のカナダ産業連関表は、SNA方式の産業連関表であることから波及効果を分析する際には、V表とU表から正方の対称産業連関表に組み替える必要がある。作成元であるBEAは、商品技術仮定と産業技術仮定の両方を併用した手法で組み替えを行っている。本論文では、2013年に海藤による「日米における建築物に伴うエネルギー消費量及びCO2排出量に関する研究」における“米国産業連関表の逆行列係数の算出”を参考にカナダの競争輸入型モデルの逆行列係数を求める。なお、計算には2004年のドル円年間平均為替レート (1 カナダ\$=85.35円) を用いた。

逆行列係数には商品×商品，産業×産業，産業×商品の3つがある。算出式について以下に示す。なお，記号の意味は，次の通りである。

q : 商品部門別国内総生産額（百万円）

g : 産業部門別国内総生産額（百万円）

U : Useマトリックス

V : Makeマトリックス

$F_{(DC)}$: 国内最終需要列ベクトル（百万円）

m : 品目別輸入係数 $m = M/(U_i + F_{(DC)})$

M : 輸入

i : 要素が1の1列ベクトル

I : 単位行列

B : 産業部門の投入に対する商品部門への投入割合を示す投入係数

$$B = U\hat{g}^{-1} \quad (3-1)$$

U : 商品部門の投入に対する産業部門への投入割合を示す投入係数

$$D = V\hat{q}^{-1} \quad (3-2)$$

$$q = Ui + F_{(DC)} + E - \hat{m}(Ui + F_{(DC)}) \quad (3-3)$$

$$g = Vi \quad (3-4)$$

(3-3)に(3-1)を代入

$$q = Bg + F_{(DC)} + E - \hat{m}(Bg + F_{(DC)}) \quad (3-5)$$

(3-2) (3-4) より

$$g = Dq \quad (3-6)$$

(商品×商品) 逆行列の算出

(3-5)に(3-6)を代入

$$q = \{I - (I - \hat{m})BD\}^{-1}\{(I - \hat{m})F_{(DC)} + E\} \quad (3-7)$$

$\{I - (I - \hat{m})BD\}^{-1}$ は（商品×商品）逆行列係数である。

(産業×産業) 逆行列の算出
(3-6)に(3-5)を代入

$$g = \{I - D(I - \hat{m}B)^{-1}D\{(I - \hat{m}F_{(DC)} + E\} \quad (3-8)$$

$\{I - (I - \hat{m})B\}^{-1}$ は(産業×産業) 逆行列係数である。

(産業×商品) 逆行列の算出
(3-6)に(3-7)を代入

$$g = \{I - D(I - \hat{m}B)^{-1}\{(I - \hat{m}F_{(DC)} + E\} \quad (3-9)$$

$D\{I - (I - \hat{m})BD\}^{-1}$ は(産業×商品) 逆行列係数である。

(商品×産業) 逆行列の算出
(3-5)を整理する

$$q = I - (I - \hat{m})Bg + (I - \hat{m})F_{(DC)} + E \quad (3-5')$$

(3-5')に(3-8)を代入する

$$g = [(I - \hat{m}B\{I - D(I - \hat{m})B\}^{-1}D + 1)\{(I - \hat{m})F_{(DC)} + E\} \quad (3-10)$$

$[(I - \hat{m})B\{I - D(I - \hat{m})B\}^{-1}D + 1]$ が(商品×産業) 逆行列である

なお、本研究の単位金額あたりのエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の算出には(産業×商品) 逆行列を用い、算出を行っている。

3.4.2 直接的なCO₂排出量の推計

直接的なエネルギー消費量及びCO₂排出量の推計の推計は、各部門の化石燃料消費量に単位発熱量とCO₂排出係数をそれぞれ乗じることで推計する。そのためI-0表の部門ごとに表の部門ごとに化石燃料消費量を推計する必要がある。しかしながら、カナダの産業連関表には日本の産業連関表のように物量表が存在しないため、本論文では直接的なエネルギー消費量及びCO₂排出量の推計に当たり、主としてカナダ天然資源省(Natural Resources Canada)のデータを利用した(表3.4-1)。カナダ天然資源省では、住宅部門、商業・公共部門、交通部門、農業部門、そして産業部門の5つの大分類のデータがある。

さらに商業・公共部門では活動部門によって 6 つに、産業部部門では産業別により 59 に、輸送部門では輸送手段によって 7 つに細かく分類されている。

カナダ天然資源省の各部門の CO₂ 排出量を計算すると、約 510 (Mt) となる。これは、カナダ政府が発表している 537.9 (Mt) と大きな差がある。そこで、カナダ天然資源省とカナダ政府のデータを比べると、カナダ天然資源省では輸送部門のパイプ輸送がなかったので、パイプライン輸送によるエネルギー消費量及び CO₂ 排出量を計算して加算する必要があった。

したがって、国際エネルギー機関 (IEA) が発表している 2004-2005 経済協力開発機構エネルギー統計からカナダのパイプ輸送で消費された化石燃料のデータを得て、パイプ輸送での CO₂ 排出量 8.2 (Mt) を加算した。

また、カナダ天然資源省のセメント産業の CO₂ 排出量を見ると 2.8 (Mt) とあるが、これはカナダのセメント協会 (Cement Association of Canada) が発表している CO₂ 排出量 12.7 (Mt) と大きな差がある。カナダ天然資源省の示すセメント産業による CO₂ 排出量は、セメント製品などのセメントを原料とする産業の CO₂ 排出量であり、セメントそのものを製造する産業による CO₂ 排出量ではないと判断した。ゆえに、CO₂ 排出量 12.7 (Mt) もさらに加算した。

以上に、損失エネルギーによる CO₂ 排出量 1.6 (Mt) を足すと推計した CO₂ 排出量の合計は、532.5 (Mt) となる。この値は、カナダ政府が発表している 537.9 (Mt) と誤差が 1%なので妥当と判断した。

表 3.4 - 1 各燃料別の CO₂ 排出量算定係数表

燃料	単位	排出量算定係数	単位
原油	トン	2.9	トン - CO ₂ /単位
原料炭	トン	2.6	トン - CO ₂ /単位
一般炭 (輸入炭)	トン	2.41	トン - CO ₂ /単位
天然ガス	千 m ³	2.08	トン - CO ₂ /単位
原子力	1 kwh	20	グラム - CO ₂ /単位
水力	1 kwh	11	グラム - CO ₂ /単位

出典 (文献 7)

3.4.3 エネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の算出方法

あるひとつの商品部門に百万円投入した場合の生産者価格及び購入者価格当たりのエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を式(3-11)，(3-12)から導く。なお，直接的なエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位は，各産業部門の総エネルギー消費量・CO₂排出量をその部門の国内総生産額で除すことで算出する。

$$IE^{(i)} = \hat{c}[(I - \widehat{m})B\{I - D(I - \widehat{m})B\}^{-1}D + 1]F^{d(i)} \quad (3-11)$$

$$ICO_2^{(i)} = \hat{e}[(I - \widehat{m})B\{I - D(I - \widehat{m})B\}^{-1}D + 1]F^{d(i)} \quad (3-12)$$

ただし，

$IE^{(i)}$ ：第i商品部門の百万円当たりのエネルギー消費量原単位列ベクトル
(MJ/百万円)

$ICO_2^{(i)}$ ：第i商品部門の百万円当たりのCO₂排出量原単位列ベクトル
(kg-CO₂/百万円)

\hat{c} ：直接的なエネルギー消費量原単位を対角要素にもつ対角行列

\hat{e} ：直接的なCO₂排出量原単位を対角要素にもつ対角行列

$[(I - \widehat{m})B\{I - D(I - \widehat{m})B\}^{-1}D + 1]$ ：(産業×商品) 逆行列係数

$F^{d(i)}$ ：第i要素が第i商品部門に百万円投入時の国産品最終需要額で他の要素が0の列ベクトル (百万円)

この算出方法を基に算出したカナダ産業部門における生産者価格百万円当たりのエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の大きい順にならべたものを表3.4-2に示す。

3.5 まとめ

本章では、エネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位分析法である積み上げ法と産業連関表の長所と短所について解説した（表3.5-1）。本研究は、建築部材のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を国際的に比較することが一つの目的である。そのため、各国の平均的なエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の値を持って比較を行う必要があるため、本研究では各国の建築部材の平均的なエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を分析することができる産業連関表分析法を分析方法として採用した。

また、カナダ・日本両国の産業連関表の特徴及び相違点をまとめ、両国間における産業連関表分析法による比較検討が可能であること述べた。このことは、本研究の大きな課題でもある“国際的なエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の比較”を可能にすることであり、今後の建築物のLCA及び建築物総合環境性能評価システムの発展に伴う建築材料のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の整備につながる。

表 3.5-1 エネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の分析方法の特徴

	長所	短所
積み上げ法	精度が高い	<ul style="list-style-type: none"> ● 生産に関連する全ての物質をリストアップすることが困難 ● 生産に関連する全ての物質のデータの入手が困 ● 普及効果が無視される
産業連関分析	普及効果が考慮される	<ul style="list-style-type: none"> ● 細かな商品の種類に対応できない ● 国内の平均値であるため地域差が現れない ● 産業連関表の精度により発生する誤差

出典：（文献1）

表 3. 4-2 カナダ産業部門別百万円当たりのエネルギー消費量原単位及び
CO₂ 排出量原単位 (その 1)

	部門名	Embodied energy (MJ / 百万円)	Embodied CO ₂ (kg-CO ₂ / 百万円)
		生産者価格ベース	生産者価格ベース
1	Cement	423,829	84,849
2	Lime	397,873	83,665
3	Electric power	1,298,124	43,039
4	Chlorine	1,200,845	38,166
5	Water transportation	474,769	35,547
6	Truck transportation	508,032	34,869
7	Ready-mix concrete	246,771	29,861
8	Transportation margins	376,875	25,978
9	Concrete products	179,306	17,723
10	Mobile homes	229,624	16,083
11	Newsprint paper	621,645	15,354
12	Pipeline transportation	306,854	14,692
13	Air transportation and services incidental to air transportation	204,158	13,789
14	Steel castings	218,155	13,203
15	Urban transit	208,192	12,437
16	Iron ores and concentrates	201,249	10,480
17	Automobiles, including passenger vans	145,989	10,436
18	Wood pulp	501,606	10,265
19	Non-ferrous metal castings and graphite products	270,652	10,165
20	Other primary products of lead and lead alloys, excluding castings	243,725	10,144
21	Tar and pitch	170,919	9,842
22	Petrochemical feed stock	186,517	9,831
23	Trailers and semi-trailer	139,420	9,738
24	Other motor vehicles	148,578	9,637
25	Railway transportation and services incidental to railway transportation	127,024	9,532
26	Asphalt compound and other asphalt products	140,687	9,425
27	Solderingrods and wire	213,280	9,298
28	Fertilizers	166,722	8,988
29	Fluid milk, unprocessed	150,673	8,661
30	Hogs	150,601	8,657
31	Cattle and calves	150,569	8,655
32	Mineral wool building products	176,909	8,630
33	Motor gasoline	124,434	8,493
34	Poultryx	147,578	8,484
35	Diesel and fuel oil, aviation fuel	122,251	8,375
36	Precious metals in primary forms excluding gold	200,836	8,269
37	Paperboard, including boxboard	234,129	8,011
38	Oxygen	591,065	7,987
39	Gypsum building products	166,566	7,793
40	Eggs in the shell	132,919	7,641
41	Sand and gravel, excluding silica	114,972	7,632
42	Bus transportation, interurban and rural	112,888	7,588
43	Wheat flour	130,574	7,449
44	Sodium chlorate	233,567	7,404
45	Wheat, unmilled	120,841	7,369
46	Raw tobacco	120,364	7,340
47	Hay and straw	120,271	7,334
48	Other live animals	123,362	7,092
49	Benzene, toluene and xylene	119,224	7,048
50	Other inorganic bases and metallic oxides	173,962	6,971
51	Tissue and sanitary paper stock	235,798	6,759
52	Fresh cream	123,519	6,731
53	Honey and beeswax	115,867	6,720
54	Aircraft service and repairs	129,369	6,719
55	Ice cream	121,818	6,629
56	Peat	130,283	6,627
57	Corn, barley, oats and other grains	108,262	6,598
58	Canola, soybeans and other oil seeds	108,147	6,595
59	Refined vegetable oils	123,291	6,508
60	Pleasureboats and sporting craft	140,922	6,482
61	Monoethylene glycol	159,275	6,450
62	Other paper	236,215	6,435

表 3.4-2 カナダ産業部門別百万円当たりのエネルギー消費量原単位及び
CO₂排出量原単位（その2）

	部門名	Embodied energy (MJ / 百万円)	Embodied CO ₂ (kg-CO ₂ / 百万円)
		生産者価格ベース	生産者価格ベース
63	Other chemical elements	176,282	6,419
64	Cheese	115,527	6,295
65	Lubricating oils and greases	92,237	6,281
66	Ammonia	182,848	6,270
67	Liquid petroleum gases	89,241	6,215
68	Butter	112,938	6,154
69	Natural stone products	131,677	6,113
70	Miscellaneous dairy products	113,584	6,112
71	Stone and silica	115,703	6,059
72	Raw animal hides and skin	108,498	6,032
73	Gypsum	117,087	5,952
74	Beef, pork and other meat and edible offal, excluding poultry, fresh, chilled or frozen	105,795	5,843
75	Services incidental to agriculture and forestry	93,535	5,765
76	Caustic soda	181,397	5,751
77	Ethylene	117,092	5,656
78	Education tuition and other fees	107,670	5,580
79	Styrene	115,038	5,570
80	Aluminum in primary forms	263,217	5,537
81	Cured meat	101,046	5,440
82	Butadiene	114,948	5,438
83	Locomotive, railroad and urban transport rolling stock	107,673	5,427
84	Traveling and entertainment	88,359	5,378
85	Synthetic rubber	168,924	5,336
86	Ferro-alloys and iron and steel ingots, billets and other primary forms	85,683	5,333
87	Deuterium oxide, radioactive and other inorganic chemical	168,084	5,329
88	Printing and other inks	110,300	5,320
89	Ambulance, school bus and other transportation	81,758	5,231
90	Animal fat and lard	96,680	5,100
91	Rubber and plastic compounding agents	104,596	5,041
92	Hose and tubing, mainly rubber	125,035	5,018
93	Margarine and shortening	90,696	5,016
94	Fish and seafood, fresh, chilled or frozen	77,859	4,986
95	Complete feeds	89,261	4,970
96	Sulphur	91,869	4,966
97	Nursery stock, flowers, and other horticulture products	84,358	4,961
98	Natural gas, excluding liquefied	75,491	4,948
99	Asphalt building products and building paper	141,277	4,928
100	Road, highway and airport runway construction	63,001	4,908
101	Poultry, fresh, chilled or frozen	92,759	4,901
102	Animal by-products for industrial use	93,392	4,873
103	Paper bags and containers and plastic bags	161,988	4,777
104	Raw wool and mink skins	82,661	4,752
105	Prepared meat products	88,745	4,720
106	Other forestry products	68,577	4,626
107	Vegetables, fresh or chilled	76,448	4,615
108	Salt	96,139	4,586
109	Feed supplements and premixes	82,066	4,568
110	Other non-metallic mineral basic products	93,296	4,532
111	Aircraft and aircraft engines	92,564	4,528
112	Paints and related products	92,844	4,514
113	Iron and steel stampings	84,124	4,502
114	Cafeteria supplies	83,334	4,467
115	Metal working chemicals	100,291	4,466
116	Bricks and other clay building products	77,451	4,459
117	Wrapping and sack paper and paper bag stock	153,309	4,445
118	Metal tanks	83,978	4,421
119	Custom work, meat and food	83,240	4,382
120	Custom forestry	62,743	4,357
121	Sulphuric acid	147,752	4,331
122	Corrugated metal culvert pipe	78,761	4,304
123	Feeds from vegetable oil by-products	77,369	4,294

表 3. 4-2 カナダ産業部門別百万円当たりのエネルギー消費量原単位及び
CO₂ 排出量原単位 (その 3)

	部門名	Embodied energy (MJ / 百万円)	Embodied CO ₂ (kg-CO ₂ / 百万円)
		生産者価格ベース	生産者価格ベース
124	Glass containers and mirrors and glass household products	90,600	4,282
125	Fabricated steel plate	77,670	4,182
126	Pulpwood	60,120	4,172
127	Starches	75,285	4,155
128	Adhesives	91,840	4,144
129	Glass and other glass products	87,504	4,125
130	Miscellaneous non-metallic minerals	70,951	4,114
131	Logs, bolts, poles and other wood in the rough	59,183	4,106
132	Lead, zinc and other non-ferrous metals in primary forms	95,589	4,084
133	Postal and courier services	63,821	4,073
134	Other flours and processed grains	73,735	4,069
135	Other inorganic acids and oxygen compounds	131,640	4,015
136	Services incidental to water transportation	66,223	3,964
137	Household and personal use paper products	132,032	3,955
138	Feeds from grain by-products	70,757	3,921
139	Pigments and dyes	86,334	3,913
140	Metal doors, windows, and other building product	76,525	3,887
141	Stationery and photographic paper	107,188	3,885
142	Insecticides and herbicides	77,937	3,857
143	Metal roofing, siding, ceilings, partitions, decks and balconies	78,337	3,840
144	Crude mineral oils	58,510	3,833
145	Aircraft parts and equipment	77,241	3,790
146	Soaps, detergents and other cleaning products	80,758	3,778
147	Lumber and timber	73,637	3,748
148	Mayonnaise, salad dressing and mustard	74,513	3,740
149	Oral care products	79,281	3,738
150	Custom metal working	77,523	3,721
151	Iron and steel wire and cable	65,253	3,701
152	Wood chips and wood waste	72,299	3,688
153	Coated paper products, including wallpaper	125,228	3,686
154	Other industrial chemical preparations	77,244	3,666
155	Other hydrocarbons and derivatives	77,282	3,641
156	Feeds from vegetable by-products	70,607	3,631
157	Crude vegetable oils	64,937	3,604
158	Metal containers and closures	76,014	3,594
159	Coal	61,583	3,547
160	Iron and steel wire fencing and screen	65,100	3,521
161	Soft drink concentrates	71,341	3,520
162	Prefabricated structures and buildings	66,560	3,504
163	Refractory products	73,233	3,497
164	Abrasive products	71,804	3,469
165	Feeds from animal by-products	66,051	3,467
166	Dehydrated soup mixes and bases	84,116	3,398
167	Iron and steel forging	63,081	3,304
168	Carbonated soft drinks	65,649	3,297
169	Highway and bridge maintenance	60,030	3,284
170	Prepared cake and other mixes	68,578	3,264
171	Other alcohols and derivatives	79,368	3,251
172	Unused postage stamps, banknotes, cheque forms, and stock and bonds certificates and similar documents of title	98,361	3,245
173	Crude vegetable materials and extracts	66,868	3,244
174	Other metallic salts and peroxysalts	101,908	3,223
175	Ship repairs	65,598	3,217
176	Carbon and graphite products	76,188	3,187
177	Organic acids and derivatives	100,183	3,166
178	Office supplies	82,708	3,157
179	Residential building construction	50,630	3,145
180	Aluminum wire and cable	81,531	3,125
181	Non-residential building construction	43,709	3,096
182	Other wood end-products	72,274	3,096
183	Business forms, advertising flyers and other printed products	92,773	3,086
184	Gold and alloys in primary forms	77,955	3,084

表 3. 4-2 カナダ産業部門別百万円当たりのエネルギー消費量原単位及び
CO₂ 排出量原単位（その 4）

	部門名	Embodied energy (MJ / 百万円)	Embodied CO ₂ (kg-CO ₂ / 百万円)
		生産者価格ベース	生産者価格ベース
185	Copper in primary forms	72,165	3,063
186	Catalysts	69,532	3,051
187	Specialized publishing service	90,737	3,040
188	Iron and steel structural materials	60,813	3,033
189	Pet feeds	54,391	3,027
190	Filament yarn and yarn of staple fibres	74,835	3,019
191	Natural abrasives and industrial diamonds	57,372	3,008
192	Printing type, blocks, plates, cylinders and other printing components and support activities for printing	77,434	2,979
193	Other primary products of other non-ferrous metals	70,411	2,977
194	Wood prefabricated buildings	65,540	2,975
195	Custom wood and millwork	64,146	2,973
196	Maple sugar and syrup, other syrups, and molasses	67,666	2,960
197	Other miscellaneous metal ores and concentrates	69,877	2,930
198	Bread and rolls	60,013	2,908
199	Other engineering construction	41,403	2,904
200	Wood containers and pallets	63,133	2,873
201	Plywood and veneer	57,185	2,856
202	Polymers	64,968	2,836
203	Railway and telecommunications construction	46,773	2,825
204	Non-market art, entertainment and recreation services provided by non-profit institutions serving households	69,729	2,808
205	Personal care products, bleach and fabric softener	59,173	2,806
206	Textile dyeing and finishing service	67,441	2,791
207	Other custom work	61,647	2,779
208	Millwork and wood structural products, excluding prefabricated buildings	61,122	2,729
209	Fish and seafood products	50,455	2,718
210	Seeds, excluding oil seeds	44,424	2,710
211	Other preserved vegetables	58,418	2,707
212	Gas and oil facility construction	44,357	2,707
213	Office furniture	53,529	2,663
214	Soups in airtight containers	56,294	2,647
215	Infant and junior foods in airtight containers	55,790	2,624
216	Other primary products of aluminum and aluminum alloys, excluding castings	139,447	2,619
217	Meals	53,346	2,593
218	Services incidental to mining	47,285	2,588
219	Vinegar	65,088	2,574
220	Biscuits	58,191	2,570
221	Repair construction	39,186	2,567
222	Other services incidental to transportation	46,877	2,564
223	Truck and bus bodies and cargo containers	51,640	2,544
224	Prepared meals, mineral water and pasta product excluding dry pasta	52,507	2,544
225	Breakfast cereal products	53,750	2,541
226	Other bakery products and food snacks	53,648	2,530
227	Hunting and trapping products	38,871	2,507
228	Storage and warehousing	43,651	2,505
229	Advertising in print media	73,710	2,488
230	Vinyl chloride	56,671	2,473
231	Military ammunition and ordnance	48,747	2,453
232	Dry cleaning and laundry services	60,840	2,433
233	Ethers and epoxy derivatives of alcohols	59,072	2,408
234	Asbestos products	48,865	2,388
235	Carbon	201,503	2,376
236	Sugar	41,550	2,357
237	Other phenols, aldehydes and ketones	55,937	2,347
238	Fresh fruit, excluding tropical	38,223	2,331
239	Buses and chassis	58,680	2,328
240	Caskets and coffins, of all materials	55,449	2,304
241	Other non-market municipal government services	56,192	2,263
242	Spare parts and maintenance supplies	44,910	2,251
243	Power boilers	47,769	2,224
244	Explosives and non-military ammunition	48,439	2,223

表 3. 4-2 カナダ産業部門別百万円当たりのエネルギー消費量原単位及び
CO₂排出量原単位（その5）

	部門名	Embodied energy (MJ / 百万円)	Embodied CO ₂ (kg-CO ₂ / 百万円)
		生産者価格ベース	生産者価格ベース
245	Potato chips and flakes	47,946	2,196
246	Newspapers, magazines and periodicals	65,706	2,195
247	Chain, excluding motor vehicle and power transmission	41,508	2,194
248	Felt	53,125	2,176
249	Bauxite and alumina	52,621	2,159
250	Other plastic products	52,370	2,154
251	Polyamide resins, including nylon	56,736	2,133
252	Pickles, relishes and other sauces	45,929	2,125
253	Metal and plastic plumbing fixtures and fittings	45,397	2,113
254	Coke	39,110	2,077
255	Vegetables and vegetable juices in airtight containers	43,754	2,055
256	Religious organization services	52,492	2,052
257	Electric power, dams and irrigation construction	29,769	2,048
258	Fruit and jam in airtight containers	43,905	2,041
259	Services of the motion picture and sound recording industries	41,997	2,041
260	Art, entertainment and recreation services	44,244	2,038
261	Tarpaulins, awnings and sunblinds	49,349	2,034
262	Advertising and promotion	49,924	2,029
263	Laboratory supplies	44,082	1,999
264	Other miscellaneous food products	43,505	1,988
265	Miscellaneous health care and social assistance services	41,228	1,970
266	Retailing margins and services	44,053	1,967
267	Machine tools and accessories and hand and measuring tools	40,411	1,961
268	Yarn and thread, excluding filament and tire	51,624	1,942
269	Books, greeting cards, post cards, maps and chart	57,716	1,934
270	Private hospital services	41,027	1,930
271	Gross paid residential rent	46,329	1,906
272	Electric furnace and other electric heating equipment	38,681	1,901
273	Water and other utilities	41,846	1,901
274	Illuminated signs, illuminated name-plates and the like	47,162	1,897
275	Other metal end-products	38,888	1,894
276	Other organic chemicals	63,653	1,887
277	Other furniture and mattresses and lamps	39,407	1,868
278	Distilled alcoholic beverages	43,413	1,858
279	Other fruit products	41,719	1,852
280	Other non-market services provided by non-profit institutions serving households	46,765	1,849
281	Hardware	35,211	1,848
282	Household cooking equipment, excluding microwave ovens	38,903	1,840
283	Roasted coffee	36,378	1,838
284	Non-market education services provided by non-profit institutions serving households	46,625	1,825
285	Other rent	42,337	1,802
286	Conveyor and transmission belting	44,825	1,792
287	Non-electric furnaces and heating equipment	35,893	1,786
288	Wholesaling margins	35,287	1,774
289	Beer and beer coolers	37,840	1,761
290	Nitrogen function compounds	43,295	1,757
291	Sewing needs	38,596	1,757
292	Antifreeze preparations	38,233	1,755
293	Other rubber products	46,461	1,697
294	Polish, cream and wax products	36,025	1,697
295	Knitted fabrics	43,358	1,692
296	Household furniture and furniture parts	37,142	1,688
297	Plastic pipe and pipe fittings and other rubber end-product	42,134	1,679
298	Confectionery	35,556	1,675
299	Motor vehicle parts and accessories excluding engine and electric	34,957	1,665
300	Non-market government sector university services	39,266	1,654
301	Repair and maintenance services	36,418	1,651
302	Additives and automobile chemicals	36,280	1,637
303	Rope and twine	39,807	1,620
304	Naphtha	28,538	1,610

表 3. 4-2 カナダ産業部門別百万円当たりのエネルギー消費量原単位及び
CO₂ 排出量原単位（その 6）

	部門名	Embodied energy (MJ / 百万円)	Embodied CO ₂ (kg-CO ₂ / 百万円)
		生産者価格ベース	生産者価格ベース
305	Sales of other government services	34,252	1,606
306	Other non-market provincial government services	32,747	1,600
307	Trucks, road tractors and chassis	31,625	1,597
308	Dressed furs	41,641	1,595
309	Man-made staple fibres	42,356	1,592
310	Industrial trucks and material handling equipment	31,142	1,588
311	Radio and television broadcasting, including cable	32,136	1,585
312	Membership organization dues(excluding religious)	38,562	1,572
313	Kitchen utensils and wire products	29,953	1,562
314	Other agricultural machinery	29,892	1,548
315	Other professional, scientific, technical, administrative, support, and related services	30,802	1,548
316	Conveyors, elevators and hoisting machinery	30,275	1,548
317	Services to buildings and dwellings	30,062	1,512
318	Custom tailoring	37,406	1,504
319	Non-market social assistance services provided by non-profit institutions serving households	36,395	1,473
320	Wine and wine coolers	32,477	1,469
321	Impregnated and coated fabrics	34,211	1,436
322	Welding rods and wire electrodes	28,175	1,428
323	Accommodation services	31,871	1,416
324	Other tires, and tire tubes, tire repair materials and rethreaded tires	35,926	1,406
325	Rental and leasing of office equipment	28,768	1,392
326	Motor vehicle engines and parts	28,351	1,391
327	Defence services	28,233	1,388
328	Other non-market federal government services	28,233	1,388
329	Rental and leasing of automotive equipment	28,674	1,380
330	Rental and leasing of consumer goods and commercial and industrial machinery and equipment rental	28,485	1,376
331	Industrial furnaces, kilns and ovens	27,652	1,375
332	Industry specific machine	27,550	1,373
333	Unmanufactured tobacco	28,950	1,365
334	Fire fighting and traffic control equipment	27,953	1,355
335	Shades and blinds	29,429	1,350
336	Insulated wire and cable, excluding aluminum	34,255	1,348
337	Photographic services	29,772	1,340
338	Taxi and limousine transportation services	25,872	1,332
339	Cigarettes	27,936	1,318
340	Cocoa and chocolate	28,171	1,311
341	Other textile products	31,890	1,278
342	Radar and radio navigation equipment	27,228	1,259
343	Fabrics, excluding cotton	32,024	1,252
344	Tents, sails and sleeping bags	30,376	1,251
345	Motor car tires	31,931	1,226
346	Non-market government sector hospital services	29,290	1,224
347	Floor and wall covering, backed with paper	29,247	1,214
348	Gas distribution	21,797	1,189
349	Welding machinery and equipment	23,872	1,189
350	Transformers and converters, ballast	26,664	1,175
351	Industrial safety equipment	28,521	1,173
352	Other financial intermediary and real estate (non-rent) services	24,190	1,154
353	Recreational equipment	25,123	1,144
354	Commercial cooking equipment	22,934	1,141
355	Brooms, mops and brushes of all kinds	25,051	1,140
356	Telephone and other telecommunication services	23,088	1,132
357	Waterproof footwear	27,172	1,126
358	Personal services	25,374	1,101
359	Advertising and related services	23,191	1,100
360	Fur apparel	25,796	1,081
361	Non-market government sector other education services	23,823	1,064
362	Computer and related services	21,255	1,044
363	Pumps, compressors, fans and blowers	20,379	1,039

表 3. 4-2 カナダ産業部門別百万円当たりのエネルギー消費量原単位及び
CO₂排出量原単位（その7）

	部門名	Embodied energy (MJ / 百万円)	Embodied CO ₂ (kg-CO ₂ / 百万円)
		生産者価格ベース	生産者価格ベース
364	Architect, engineering, legal and accounting services	20,372	1,001
365	Other tobacco products	20,698	976
366	Art and decorative goods and miscellaneous end products	21,837	972
367	Textile floor covering	23,825	970
368	Bedding and other household textile products	23,109	960
369	Bearing and mechanical power transport equipment	18,592	935
370	Air purification equipment and other general purpose machinery	19,907	933
371	Porcelain insulators	18,620	928
372	Hair and bristles of pigs, hogs, boars, baggers and horses, coarse animal hair not carded or combed, and waste of these products	20,256	922
373	Pearls and precious stones excluding diamonds, jewellery and imitation jewellery, and articles of precious metals including silver	19,984	909
374	Imputed service charge, banks and other deposit accepted intermediaries	19,759	896
375	Refrigeration and air condition equipment excluding household	17,773	895
376	Wiring materials and electrical meters	19,681	890
377	Valves	17,538	885
378	Bicycles	17,716	876
379	Household refrigerators and freezers	21,440	874
380	Scales and balances	17,124	852
381	Non-market government sector residential care facility services	17,690	849
382	Broadcasting and radio communications equipment	18,391	843
383	Leather, chamois leather, composition leather and parings and other waste of leather	17,854	834
384	Fans and air circulation units, not industrial	16,427	834
385	Tea	16,414	825
386	Recordings, musical instruments, and artists' and smokers' supplies	17,928	813
387	Vending machines	16,500	808
388	Pharmaceuticals	17,272	784
389	Nuts	16,616	783
390	Electronicequipment components	15,720	735
391	Sausage casings	14,158	732
392	Telephone and related equipment, including fax machines	16,914	723
393	Hosiery and knitted clothing	18,080	716
394	Other oils, fats and waxes	16,231	712
395	Insurance	14,510	708
396	Industrial electric equipment, including safety	15,119	700
397	Gas and water meters	14,434	690
398	Cotton woven fabric	17,488	684
399	Wheel and crawler tractors and engines, parts and assemblies thereof	12,594	670
400	Electronic alarm and signal systems	14,672	662
401	Motor vehicle electric equipment	14,193	643
402	Batteries	14,098	610
403	Measuring, photo, medical and scientific instruments	13,485	607
404	Lighting fixtures, bulbs and tubes	12,735	603
405	Sodium carbonate	14,708	596
406	Electric motors, power generated equipment, marine engines	11,775	591
407	Ceramic household products	11,863	566
408	Clothing and accessories, excluding dressed furs and fur apparel	13,672	555
409	Photographic and photocopy equipment, film and plate	12,748	538
410	Trunks, suitcases, briefcases, school satchels and similar containers	11,188	475
411	Clays	8,477	449
412	Small household appliances including microwave oven	8,522	406
413	Gross imputed rent	6,529	375
414	Power hand tools	9,522	373
415	Computers and office equipment, excluding photocopy and fax machines	5,834	289
416	Household clothes washers, dryers and dishwashers, and lawn movers, snowblowers, and lawn sprinkler	5,204	268
417	Toys and games, including electronic	6,280	242
418	Clocks and watches and parts thereof, excluding watch straps, bands and bracelets	6,223	242
419	Footwear, excluding waterproof	5,531	234
420	Leather gloves	5,634	233

表 3. 4-2 カナダ産業部門別百万円当たりのエネルギー消費量原単位及び
CO₂ 排出量原単位（その 8）

	部門名	Embodied energy (MJ / 百万円)	Embodied CO ₂ (kg-CO ₂ / 百万円)
		生産者価格ベース	生産者価格ベース
421	Handbags, wallets and similar personal articles such as eyeglass and cigar cases and coin purses	5,065	210
422	Coffee, not roasted	3,212	153
423	Stereo equipment, televisions, VCRs, and similar equipment, and unrecorded tape	3,348	151
424	Organo-inorganic compounds	3,740	101
425	Phosphorous	0	0

第 3 章 参考文献

- 1) 海藤俊介：日米における建築物に伴うエネルギー消費量及びCO₂排出量に関する研究，宇都宮大学博士（工学）学位論文，2013
- 2) 芦村昌士，沼田博美，横山計三，竹林芳久，横尾昇剛，岡建雄：2005年産業連関表によるCO₂排出量原単位の作成と流通マージンの分析に関する研究，日本建築学会環境系論文集，No. 653, p653-659, 2010. 7
- 3) 朝倉啓一郎，早見均，溝下雅子，中村政男，中野諭，篠崎美貴，鷺津明由，吉岡完治：環境分析用産業連関表，慶應義塾大学出版会，2001
- 4) 日本経済研究センター：経済統計の体系的整備に関する調査，2010，
(http://www5.cao.go.jp/statistics/nenpou/chousa/chousa_1003/chousa_1003.pdf)
- 5) Statistics Canada, Input-Output Accounts, (<http://www5.statcan.gc.ca/subject-sujet/result-resultat?pid=3764&lang=eng&id=2745&more=0&type=OLC&pageNum=1>)
- 6) Environment Canada, Greenhouse Gas Emissions in Canada, (<http://www.ec.gc.ca/ges-ghg/default.asp?lang=En&n=1357A041-1>)
- 7) Natural Resources Canada, Energy Sources and Distribution, (<http://www.nrcan.gc.ca/energy/energy-sources-distribution>)

第4章 産業連関表によるエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の分析結果

4.1 概要

前章では、カナダ産業部門における単位金額当たりのエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を明らかにした。本章ではこれらの原単位を利用し、エネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の観点からカナダ・日本における建築産業について比較分析を行う。特に、カナダ・日本それぞれの国内における建設工事額、着工面積、消費物量の統計データを基にエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を考察する。

4.2 カナダと日本の産業構造の違い

4.2.1 カナダ・日本における一次エネルギー消費量とCO₂排出量

図4.2-1に、2004年における主要各国の一次エネルギー源と国内消費量を示す。カナダ・フランスを除いた国は、80%以上化石燃料に依存していて、アメリカの一次エネルギーの国内消費量は23.3(億t)と世界第一である。また、日本の一次エネルギーの国内消費量は世界4位の5.1(億t)でカナダの1.6倍の値である。カナダ・日本の主要な一次エネルギー消費量を詳しく考察してみると、カナダは、原油(32%)、天然ガス(26%)、水力(25%)であり、日本は、原油(47%)、石炭(24%)、原子力(13%)、天然ガス(13%)である。カナダは発電に適した河川が多いことから、歴史的に水力を中心とした開発が行われている。1950年時点での水力発電の比率は、95%であったが1970年代の石油危機以前は火力発電設備が建設されるようになり、石油危機以降は原子力発電が開発されるようになった。2004年時点で、他の化石エネルギーと比較して二酸化炭素排出量の少ない天然ガスと水力の比率が50%を占め、日本は二酸化炭素排出量の多い原油と石炭が約70%の比率を占めている。

図4.2-2に、主要国のエネルギー自給率を示す。日本は、高度経済成長の下でエネルギー供給量が急増し、石油が大量に輸入されるとともに石炭も輸入中心へと移行したことからエネルギー自給率は大幅に低下した。さらに、石油ショック以降に導入された天然ガスや原子力の燃料となるウランについてもほぼ全量が海外から輸入されているため、エネルギー自給率は4%（原子力を国産エネルギーとしても18%）と低いものとなっている。カナダは、石炭、石油、天然ガス等のエネルギー資源に

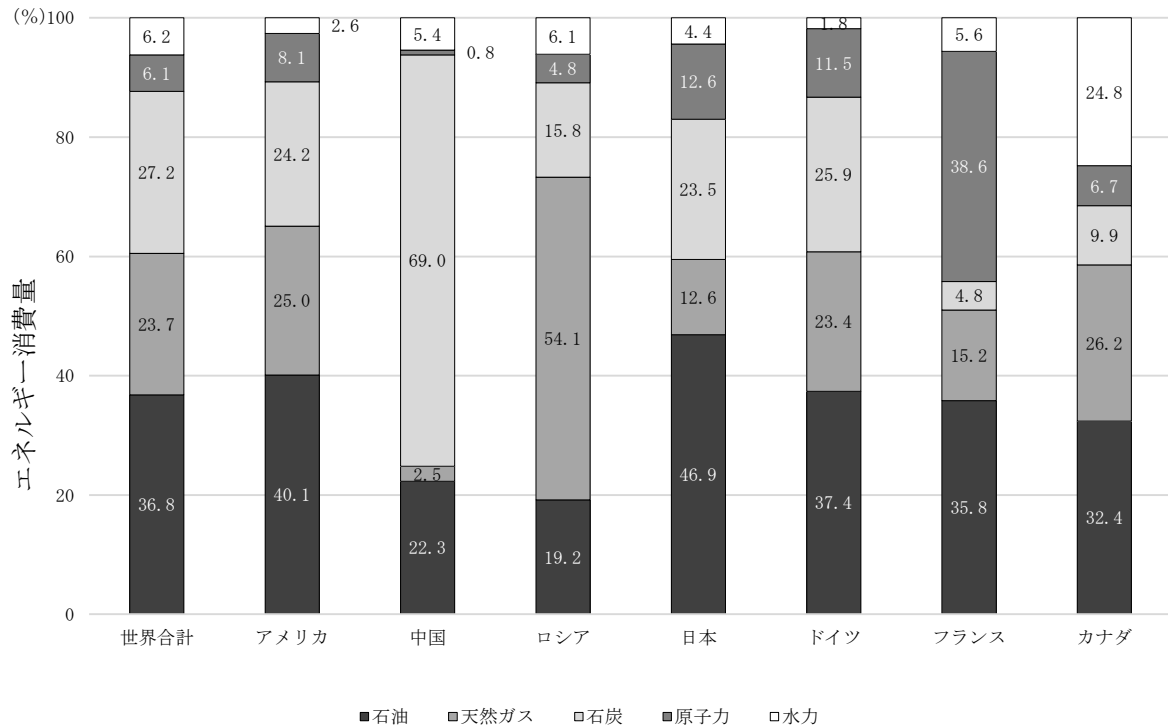


図4. 2-1 2004年主要格国の一次エネルギー消費量
出典：(文献10)

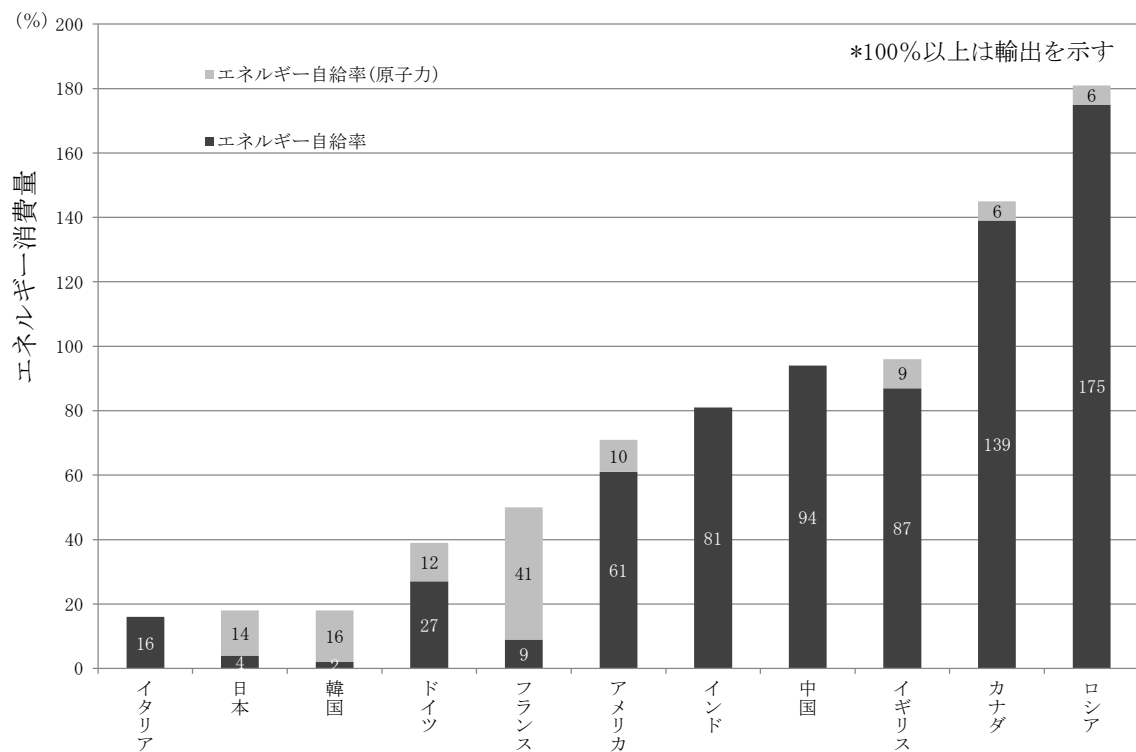


図 4. 2-2 主要国のエネルギー自給率

出典：(文献 3)

恵まれており、国内需要を満たすだけでなく米国を中心に輸出されている。石油輸出量については全体の4.5%、天然ガス輸出量についてはパイプラインによるガス貿易全体の19.5%を占めている。しかし、石炭資源は数10年程度あるが、石油や天然ガスにいたっては10年分程度であり、高い自給率が今後も続くとは必ずしも言えない状況にある。

図4.2-3に主要国のGDP単位当たりの一次エネルギー供給量の比率、一人当たりの一次エネルギー供給量、図4.2-4に主要国のGDP単位当たりのCO₂排出量の比率、一人当たりのCO₂排出量を日本=1としてそれぞれ示す。先進国の中で、日本は対GDPで高いエネルギー効率と高いCO₂排出効率を誇っている。1970～1980年代、GDPあたりエネルギー効率、GDPあたりCO₂排出効率共に39%あまり改善したが、1990～2000年代の変化は小さい。主な理由として、低コストの省エネルギー技術、配管の断熱化、廃熱回収、炉の温度と運転時間の最適化などが行われた。その後、新型ボイラーや連続製造工程など、新規投資が必要なエネルギー効率の良い装置が導入されたことが大きな要因である。カナダ全体の一次エネルギー消費量は、日本の半分程度に過ぎない。しかし、GDP単位当たりの一次エネルギー供給量及びCO₂排出量の比率は約日本の3倍に及ぶ。また、1人当たりの一次エネルギー消費量及びCO₂排出量は、日本の約2倍にも及ぶ。電気事業連合会によると、主な5つの理由があげられる。

- 自国でのエネルギー自給率が高い
- 国土が大きい一人当たりの送電量が大きい
- 電力が安価のため電力消費量が多い
- 資源をエネルギーに変換するエネルギー消費量が多い
- 冬季が長い暖房によるエネルギー消費量が多い

表 4.2-1 に示す製造業におけるエネルギー消費の構成を見ると、カナダは天然ガス（27%）、電力（27%）が半分以上を占め、日本は原油（41%）、石炭・コークス（26%）が大部分を占めている。建設業においてカナダは、原油（67%）、天然ガス（33%）、日本は、原油（91%）、天然ガス（9%）となった。カナダの産業別エネルギー消費量の構成を日本と比較すると、カナダはCO₂排出量の少ない天然ガス

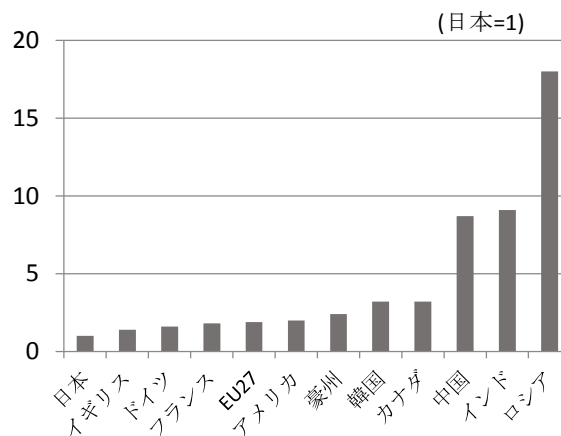


図 4.2-3 GDP 単位当たり一次エネルギー供給量 (2004 年)

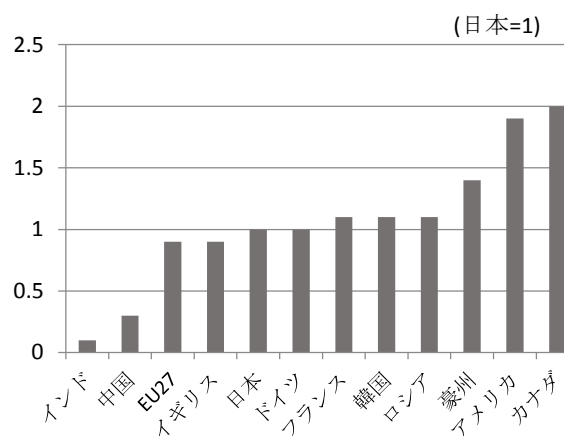


図 4.2-3 一人あたり一次エネルギー供給量 (2004 年)

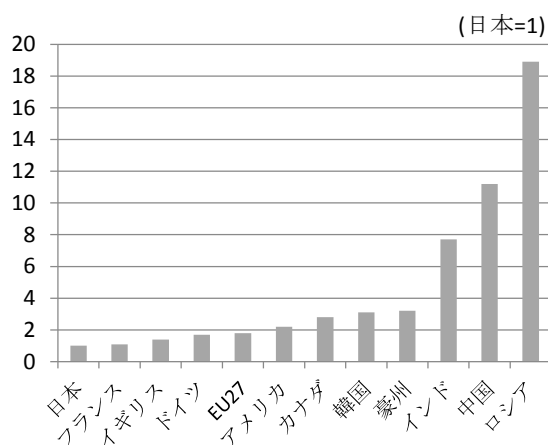


図 4.2-4 GDP 単位当たり CO₂ 排出量 (2004 年)

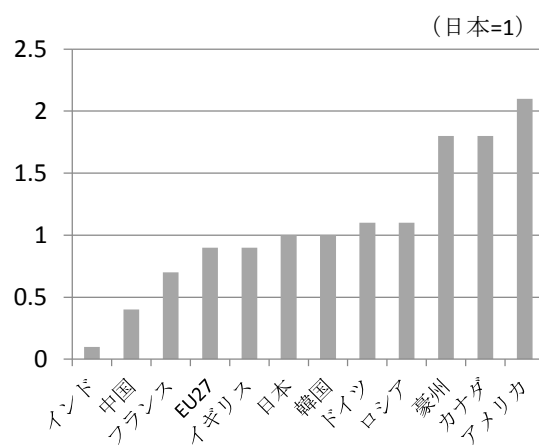


図 4.2-4 一人あたり CO₂ 排出量 (2004 年)

出典：(文献 3)

表 4.2-1：製造業・建産業の主要一次エネルギー源

主要エネルギー	製造業		建設業	
	カナダ	日本	カナダ	日本
天然ガス	27%	3%	33%	9%
原油	5%	41%	67%	91%
電力	27%	19%	—	—
石炭・コークス	4%	26%	—	—

出典：(文献 3, 12 より作成)

が各産業エネルギー消費量の約 30%を占めている。一方、日本は CO₂排出量の多い化石エネルギーが約 70%を占めている。

4.2.2 カナダ・日本の産業構造の相違

表 4.2-2 にある両国の産業構造の違いを GDP 比で見ると、第一次産業(カナダ 2.3%, 日本 1.6%), 第 2 次産業(カナダ 26.6%, 日本 27.0%), 第三次産業(カナダ 71.1%, 日本 71.4%)とカナダの第一次産業は日本の約 1.5 倍である。一方、第二・第三次産業の数値に差はない。第二次産業の製造業(カナダ 17.4%, 日本 20.8%)を細かく見ると、カナダは製材(カナダ 1.2%, 日本 0.2%)や鉄鋼(1.1%, 日本 0.8%)などの割合が大きく、日本は、機械類(カナダ 5.0%, 日本 10.0%)など技術分野の割合が大きい。また、建設産業を比較してみても、日本の 6.1%に対してカナダは 5.6%とやや低い。鉱業は(カナダ 3.6%, 日本 0.1%)と大きな差がある。カナダは天然資源が豊富であり、日本に比べて鉱業が盛んである。特に、世界 1 位の産出量ウランの多くはアメリカに輸出されている。第三次産業の電気・ガス・水道業を比較してみると、両国ともに 2.5%となった。

表 4.2-2 カナダ・日本産業別 GDP 構成比

産業		カナダ	日本
第 1 次産業		2.3%	1.6%
第 2 次産業			
製造業	製材	1.2%	0.2%
	機械	5.0%	10.0%
	鉄鋼	1.1%	0.8%
	その他	10.1%	9.8%
	合計	17.4%	20.8%
建設業		5.6%	6.1%
鉱業		3.6%	0.1%
合計		26.6%	27.0%
第 3 次産業			
電気・ガス・水道業		2.5%	2.5%
その他		68.6%	68.9%
合計		71.1%	71.4%

出典：(文献 13, 14 より作成)

4.3 カナダ・日本におけるエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の比較

4.3.1 両国の建築産業におけるエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位

表 4.3-1 にカナダ・日本における建築産業のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の比較を示す。既存の研究により、日本の2005年産業連関表によるエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の研究がなされている（文献1より）。そこで、前記した2004年カナダ産業連関表によるエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位と比較し、カナダと日本の原単位レベルでの比較を行う。

両国の住宅建設におけるエネルギー消費量原単位の差は少ないが、日本の非住宅建設のエネルギー消費量原単位はカナダより約15%大きい。日本の住宅建設・非住宅建設のCO₂排出量原単位はカナダより約40%大きくなった。カナダの土木部門に關してのエネルギー消費量原単位は日本より約50%大きく、CO₂排出量原単位は日本より約13%大きくなった。これは主要建設材料の（Ready-Mix Concrete and Steel Structural Materials）のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位が日本に比べて大きいことが原因と考えられる。建築補修も土木部門と同様の結果となった。日本の建築産業の特徴は、エネルギー消費量原単位の消費に対しCO₂排出量原単位の割合がカナダの建築産業と比較すると大きい傾向にある。これは、日本の製造業における多くのエネルギー源が化石エネルギーに依存しているためである。

2004年における両国の住宅・非住宅建築総額のGDPに対する伸び率（対2003）を比較してみると、住宅（カナダ+0.9%、日本-0.1%）、非住宅（カナダ-0.5%、日本-0.6%）となった。しかし、2005年以降カナダの非住宅建築総額のGDP伸び率が増加していることより、カナダの住宅・非住宅建築産業活動が日本の建築産業活動に比べ増加傾向にあることを示している。

表 4.3-1 カナダ・日本建築産業のエネルギー消費量原単位/CO₂排出量原単位

産業名	エネルギー消費量原単位 (MJ/百万円)		CO ₂ 排出量原単位 (kg-CO ₂ /百万円)	
	カナダ	日本	カナダ	日本
住宅建設	50,630	48,973	3,145	4,411
非住宅建設	43,709	50,477	3,096	4,539
建築部門計	94,339	99,450	6,241	8,950
土木部門計	92,770	62,435	6,956	6,133
建築補修	39,186	27,466	2,567	2,436

4.3.2 両国の建築産業の投入部門における投入金額とエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位

表 4.3-2, 3 に日本主要建築 60 部門に投入のある百万円あたりの生産者価格ベースのエネルギー消費量原単位を CO₂ 排出量原単位の大きい順にならべたものである。日本の上位 10 部門において共通する部門は「セメント」(117,145 kg-CO₂ / 百万円)における CO₂ 排出量原単位が最も大きく, 「事業用電力」(26,737 kg-CO₂ / 百万円), 「生コンクリート」(23,126 kg-CO₂ / 百万円), 「熱間圧延鋼材」(22,135 kg-CO₂ / 百万円), 「冷間仕上鋼材」(14,287 kg-CO₂ / 百万円), 「鋼管」(13,374 kg-CO₂ / 百万円)の順で CO₂ 排出量原単位が大きい。

表 4.3-3 にカナダ主要建築 60 部門に投入のある百万円あたりの生産者価格ベースのエネルギー消費量原単位を CO₂ 排出量原単位の大きい順にならべたものである。カナダの上位 10 部門において共通する部門は日本と同様に「Cement」(84,849 kg-CO₂ / 百万円)における CO₂ 排出量原単位が最も大きく, 「Electric power」(43,039 kg-CO₂ / 百万円), 「Water transportation」(35,547 kg-CO₂ / 百万円), 「Truck transportation」(34,869 kg-CO₂ / 百万円), 「Ready-mix concrete」(29,861 kg-CO₂ / 百万円), 「Transportation margins」(25,978 kg-CO₂ / 百万円)の順で CO₂ 排出量原単位が大きい。

4.4 カナダ・日本の主要建築部材におけるエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位

表 4.4-1 にカナダ・日本の主要建築 7 部門に投入のある百万円あたりの生産者価格ベースのエネルギー消費量原単位を CO₂ 排出量原単位の大きい順にならべたものである。日本の Cement, Steel Casting, Glass and Other Glass Products におけるエネルギー消費量原単位はカナダの約 4~10%大きくなったが, 日本の CO₂ 排出量原単位はカナダより約 38~67%大きくなった。これは, 生産過程において化石エネルギーを多く利用している結果である。特に日本のセメント部門は 1990 年以降, 化石エネルギーの使用が削減したにもかかわらず, コスト削減のため火力自家発電比率が高まった。よって, 天然ガスを多く利用しているカナダのセメント部門より CO₂ 排出量原単位が 38%大きくなったと考えられる。

表 4.3-2 日本建築産業部門別百万円当たりの
エネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位

	部門名	Embodied energy (MJ / 百万円)	Embodied CO ₂ (kg-CO ₂ / 百万円)
		生産者価格ベース	生産者価格ベース
1	セメント	44,1709	117,145
2	事業用電力	36,1346	26,737
3	生コンクリート	107,411	23,126
4	熱間圧延鋼材	228,848	22,135
5	冷間仕上鋼材	154,845	14,287
6	鋼管	142,490	13,374
7	熱供給業	216,106	13,342
8	鉄鋼シャースリット業	114,229	10,561
9	めっき鋼材	106,903	9,469
10	沿海・内水面輸送	133,187	9,521
11	鑄鉄管	100,470	8,847
12	圧縮ガス・液化ガス	122,448	8,955
13	自家輸送(貨物自動車)	131,552	8,981
14	自家輸送(旅客自動車)	133,960	8,964
15	鑄鍛鋼	100,470	8,847
16	洋紙・和紙	96,538	7,678
17	下水道	112,135	8,130
18	セメント製品	53,674	7,985
19	その他の建設用土石製品	105,652	7,831
20	その他の鉄鋼製品	58,877	5,329
21	その他の有機化学工業製品	87,909	5,959
22	板紙	92,835	7,228
23	航空輸送	61,754	4,108
24	花き・花木類	87,703	6,198
25	ガラス繊維・同製品	85,036	5,732
26	建設用金属製品	68,881	6,199
27	塗料	90,018	6,203
28	ゼラチン・接着剤	79,523	5,470
29	無機顔料	71,335	4,924
30	その他の化学最終製品	61,985	4,267
31	ボルト・ナット・リベット及びスプリング	55,637	4,851
32	陶磁器	69,305	4,431
33	プラスチック製品	68,239	4,763
34	磁気テープ・磁気ディスク	62,006	4,221
35	その他の無機化学工業製品	50,333	3,442
36	ガス・石油機器及び暖房機器	52,061	4,431
37	耐火物	50,180	3,826
38	鉛・亜鉛(含再生)	56,298	4,258
39	その他の窯業・土石製品	45,021	3,714
40	砂利・採石	61,887	4,301
41	特用林産物(含狩猟業)	51,698	3,621
42	光ファイバケーブル	55,627	3,878
43	その他のガラス製品	54,705	3,563
44	金属製容器及び製缶板金製品	49,801	4,156
45	砕石	58,726	4,111
46	ハイヤー・タクシー	65,172	3,962
47	石けん・合成洗剤・界面活性剤	55,548	3,818
48	綱・網	44,530	3,219
49	鉄道貨物輸送	52,388	3,922
50	毛織物・麻織物・その他の織物	41,885	2,948
51	都市ガス	60,992	3,864
52	その他の繊維工業製品	44,711	3,126
53	じゅうたん・床敷物	40,135	2,835
54	塗工紙・建設用加工紙	44,394	3,277
55	その他の金属製品	40,239	3,347
56	その他のゴム製品	44,393	3,143
57	金属製家具・装備品	35,205	2,885
58	建築用金属製品	39,211	3,249
59	板ガラス・安全ガラス	41,841	2,999
60	配管工事付属品・粉末や金製品・道具類	33,607	2,732

表 4.3-3 カナダ建築産業部門別百万円当たりの
エネルギー消費量原単位及び CO₂排出量原単位

	部門名	Embodied energy (MJ / 百万円)	Embodied CO ₂ (kg-CO ₂ / 百万円)
		生産者価格ベース	生産者価格ベース
1	Cement	423,829	84,849
2	Electric power	1,298,124	43,039
3	Water transportation	474,769	35,547
4	Truck transportation	508,032	34,869
5	Ready-mix concrete	246,771	29,861
6	Transportation margins	376,875	25,978
7	Concrete products	179,306	17,723
8	Pipeline transportation	306,854	14,692
9	Steel castings	218,155	13,203
10	Urban transit	208,192	12,437
11	Iron ores and concentrates	201,249	10,480
12	Wood pulp	501,606	10,265
13	Non-ferrous metal castings and graphite products	270,652	10,165
14	Other primary products of lead and lead alloys, excluding castings	243,725	10,144
15	Tar and pitch	170,919	9,842
16	Trailers and semi-trailer	139,420	9,738
17	Other motor vehicles	148,578	9,637
18	Railway transportation and services incidental to railway transportation	127,024	9,532
19	Asphalt compound and other asphalt products	140,687	9,425
20	Solderingrods and wire	213,280	9,298
21	Fertilizers	166,722	8,988
22	Mineral wool building products	176,909	8,630
23	Motor gasoline	124,434	8,493
24	Precious metals in primary forms excluding gold	200,836	8,269
25	Paperboard, including boxboard	234,129	8,011
26	Gypsum building products	166,566	7,793
27	Sand and gravel, excluding silica	114,972	7,632
28	Bus transportation, interurban and rural	112,888	7,588
29	Natural stone products	131,677	6,113
30	Stone and silica	115,703	6,059
31	Education tuition and other fees	107,670	5,580
32	Aluminum in primary forms	263,217	5,537
33	Butadiene	114,948	5,438
34	Locomotive, railroad and urban transport rolling stock	107,673	5,427
35	Synthetic rubber	168,924	5,336
36	Ferro-alloys and iron and steel ingots, billets and other primary forms	85,683	5,333
37	Rubber and plastic compounding agents	104,596	5,041
38	Hose and tubing, mainly rubber	125,035	5,018
39	Asphalt building products and building paper	141,277	4,928
40	Road, highway and airport runway construction	63,001	4,908
41	Prepared meat products	88,745	4,720
42	Other forestry products	68,577	4,626
43	Other non-metallic mineral basic products	93,296	4,532
44	Paints and related products	92,844	4,514
45	Iron and steel stampings	84,124	4,502
46	Metal working chemicals	100,291	4,466
47	Bricks and other clay building products	77,451	4,459
48	Metal tanks	83,978	4,421
49	Glass containers and mirrors and glass household products	90,600	4,282
50	Fabricated steel plate	77,670	4,182
51	Pulpwood	60,120	4,172
52	Starches	75,285	4,155
53	Adhesives	91,840	4,144
54	Glass and other glass products	87,504	4,125
55	Miscellaneous non-metallic minerals	70,951	4,114
56	Logs, bolts, poles and other wood in the rough	59,183	4,106
57	Lead, zinc and other non-ferrous metals in primary forms	95,589	4,084
58	Services incidental to water transportation	66,223	3,964
59	Household and personal use paper products	132,032	3,955
60	Metal doors, windows, and other building product	76,525	3,887

表 4.4-1 生産者価格ベースにおける主要 7 建築部門に投入のある
百万円あたりのエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位

	部門名	エネルギー消費量原単位 (MJ / 百万円)		CO ₂ 排出量原単位 (kg-CO ₂ / 百万円)	
		カナダ 生産者価格ベ ース	日本 生産者価格 ベース	カナダ 生産者価格ベ ース	日本 生産者価格 ベース
1	Cement	423, 829	441, 709	84, 849	117, 145
2	Ready-mix concrete	246, 771	107, 411	29, 861	23, 126
3	Steel castings	218, 155	228, 848	13, 203	22, 135
4	Glass and other glass products	87, 504	96, 546	4, 125	6, 264
5	Lumber and timber	73, 637	10, 973	3, 748	769
6	Iron and steel structural materials	60, 813	39, 211	3, 033	3, 249
7	Plywood and veneer	57, 185	22, 527	2, 856	1, 594

4.4.1 セメント

日本のセメントにおける生産者価格百万円当たりのエネルギー消費量原単位は、カナダより 4.2%大きい。また、日本のセメントにおける生産者価格百万円当たりの CO₂ 排出量原単位はカナダより 38%大きい。

2004 年における両国のセメント生産量を比較してみると、日本におけるセメント生産量は日本セメント協会によると 71,682 千トンに対して、カナダのセメント生産量は Statistics Canada によると 13,083 千トンであり、日本のセメント生産量はカナダのセメント生産量の約 5.48 倍である。しかし、セメント 1 トンの製造に関するエネルギー消費量は日本が 1.10GJ(10⁹)に対して、カナダは 3.82GJ(10⁹)となり、カナダのセメント 1 トンの製造に関するエネルギー消費量は日本の約 3.8 倍となった。このことより、セメント製造に関する日本のエネルギー効率は非常に高いと考えられる。しかし、セメントにおける生産者価格百万円当たりのエネルギー消費量原単位はカナダより 4.2%大きい。大きな理由として考察されるのは、土木建築用を使用する JIS 化されたセメントは、ポルトランドセメント、混合セメント、エコセメントに大別され、ポルトランドセメントはクリンカー鉱物の構成比等によってさらに 6 種類に分類される。この様な、混合セメントなどのセメント製造

過程による原材料・各種セメント運送等のエネルギー消費量を含めることによって、日本のセメントにおける生産者価格百万円当たりのエネルギー消費量原単位がカナダのエネルギー消費量原単位より高くなったと推測される。セメント協会制作による表 4.4-2 の普通ポルトランドセメントを 1 t 製造に必要な原料が示すように、セメント製造に関する主要エネルギーとして石炭は欠かせない資源となっている。しかし、図 4.4-1 に示すように 2000 年～2008 年にかけて石炭の価格が 3.5 倍になったことが日本のセメントにおけるエネルギー消費量原単位がカナダより大きくなった原因といえる。

カナダ・日本における CO₂ 排出量原単位の低減率は、エネルギー消費量原単位の低減率に比べて約 9 倍小さい。セメント製造において、CO₂ 排出の大半は石灰石の脱炭酸化によるものであり、この過程での CO₂ 排出には大きな差はないものと考えられ、CO₂ 排出量の違いは一次エネルギー起源の CO₂ 排出量によるものであると考えられる。

また、ATHENA Institute によるカナダのセメントにおけるエネルギー消費量原単位および CO₂ 排出量原単位は 420,168(MJ/百万円)および 71,315(kg-CO₂/百万円)となり、本研究のエネルギー消費量原単位(423,829 MJ/百万円)と約 0.8%の誤差となった。

表 4.4-2 普通ポルトランドセメントを 1 t 製造に必要な原料

石灰石(kg)	1119
粘土(g)	117
けい石(kg)	80
鉄原料ほか(kg)	28
石膏(kg)	37
石炭(kg)	103
電力(kWh)	102

出典：(文献 11)

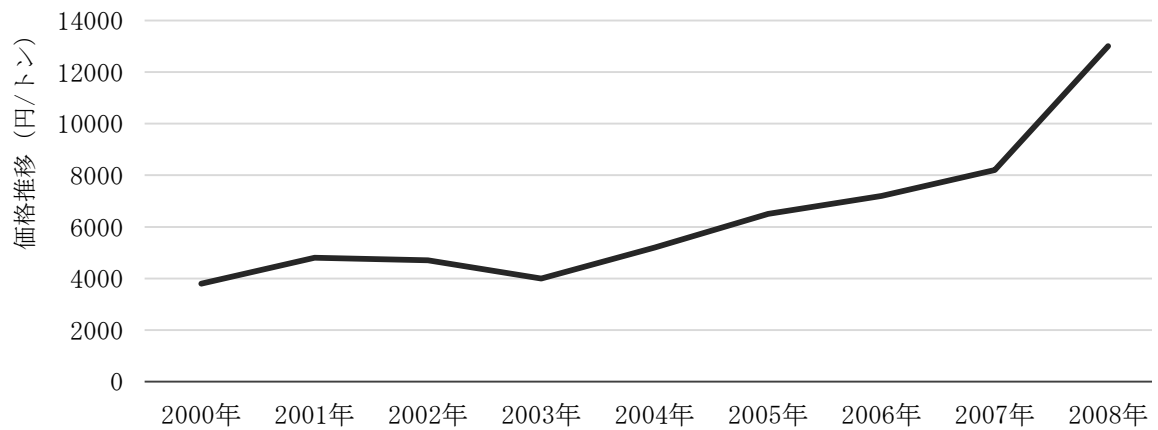


図 4.4-1 輸入石炭の価格推移

出典：(文献 11)

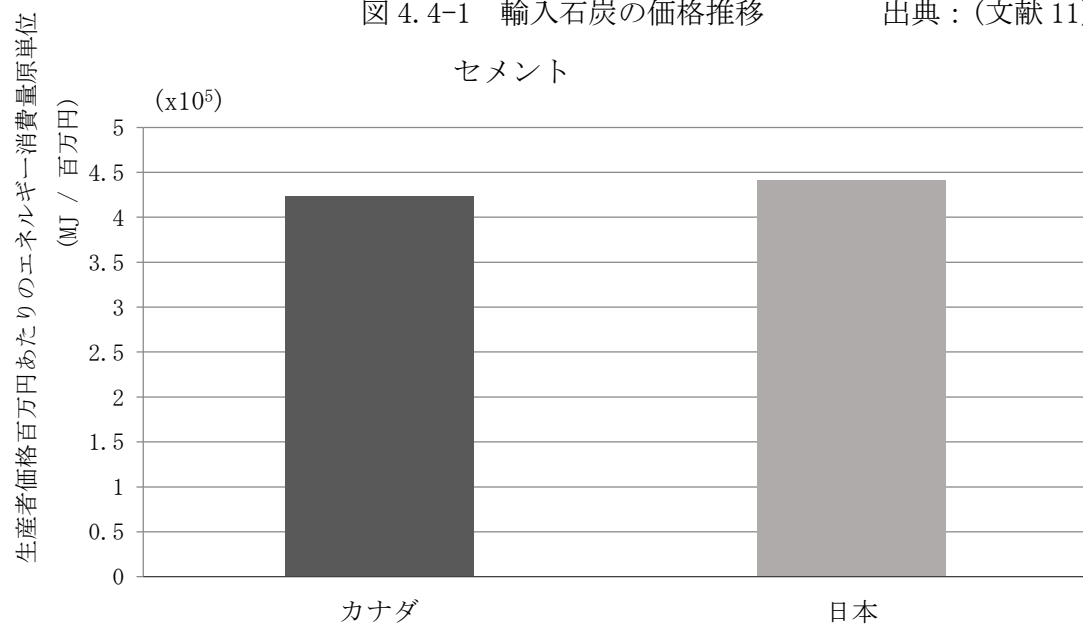


図 4.4-2 セメントにおける生産者価格百万円あたりのエネルギー消費量原単位

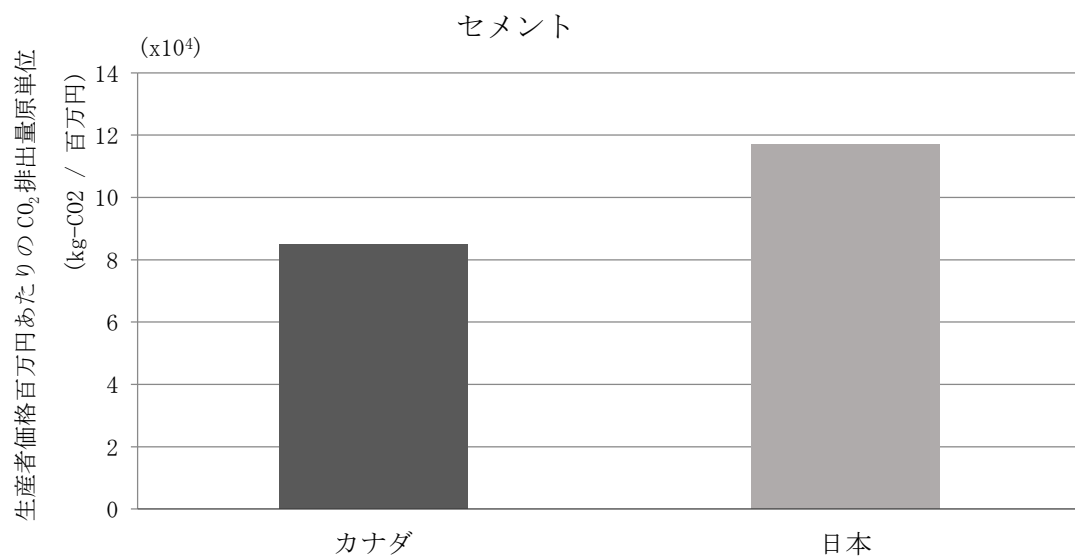


図 4.4-3 セメントにおける生産者価格百万円あたりのCO₂排出量原単位

4.4.2 コンクリート

コンクリートのエネルギー消費量原単位では、カナダが約 2.3 倍日本より大きく、コンクリートの CO₂ 排出量原単位ではカナダの方が約 1.3 倍大きくなった。これは、コンクリートのセメント、水以外の細骨材・粗骨材などの種類が異なるということ、セメント工場から生コン工場までの距離がカナダの方が長く運搬におけるエネルギー消費量がカナダの方が大きいということが考えられる。

日本では、海外諸国に比べ混和材料の使用は活発ではなく、コンクリートの80%がプレーン(混和材料無混和)コンクリートである。日本では、混和材料の使用は比較的少なく一方、米国、カナダでは積極的にフライアッシュもしくは、スラグがレディーミックスコンクリート(RMC)プラントにおいて使用されている。

また、このような骨材種類は地質・地理条件により大きく異なる。日本では海砂採取は規制されている傾向にあることもあり、混和材量は比較的使用されていない。カナダにおいては、北米大陸の北西部：Natural Glacier Gravelを骨材として使用することが多い。このことより、骨材の運搬に使用されるエネルギー消費量等を考慮することにより、カナダにおけるコンクリートのエネルギー消費量原単位が日本より約29%大きくなったと考えられる。

コンクリートにおけるカナダ・日本におけるCO₂排出量原単位の割合の差は、エネルギー消費量原単位に比べて差は小さい。セメント製造同様に、CO₂排出量の違いは一次エネルギー起源のCO₂排出量によるものであると考えられる。

ATHENA Institute によるカナダのコンクリートにおけるエネルギー消費量原単位およびCO₂排出量原単位は203,505(MJ/百万円)および26,947(kg-CO₂/百万円)となり、本研究のエネルギー消費量原単位(246,771 MJ/百万円)と約21%の誤差となった。ATHENA Instituteのコンクリートにおけるエネルギー消費量原単位に、輸送エネルギー消費量が含まれていないことがひとつの要因と考える。

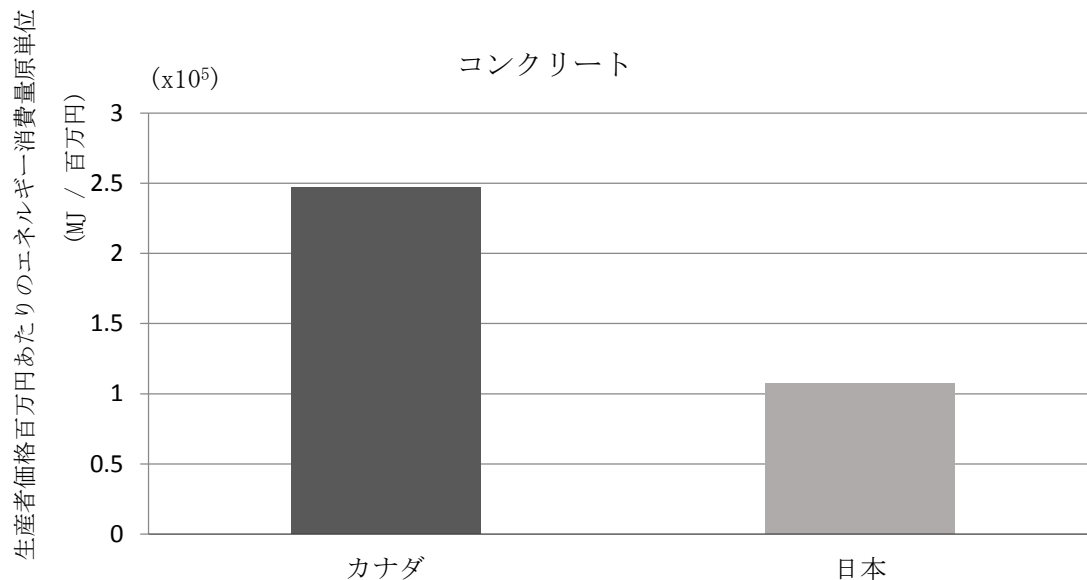


図 4.4-4 コンクリートにおける生産者価格百万円あたりのエネルギー消費量原単位

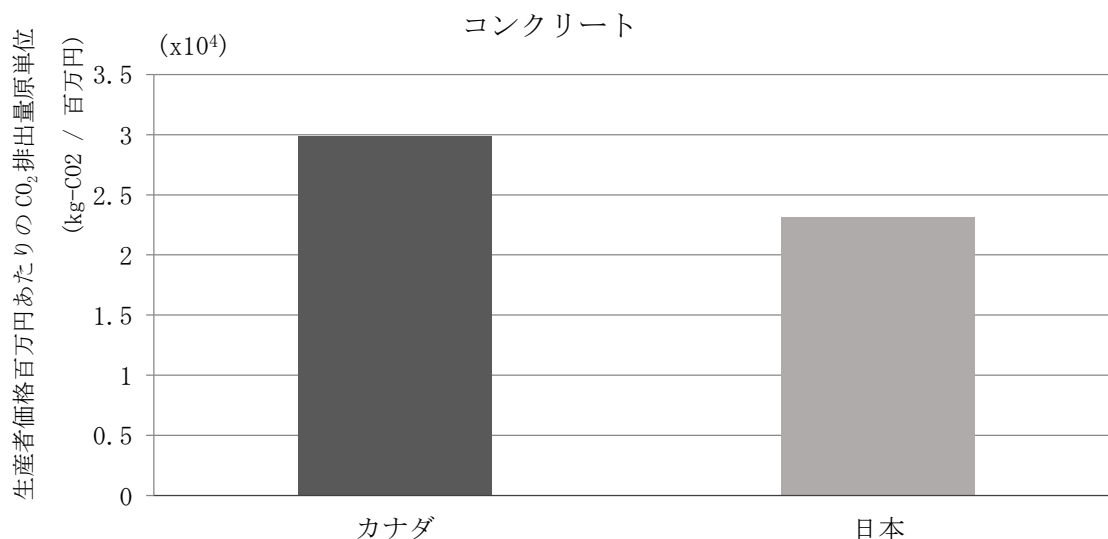


図 4.4-5 コンクリートにおける生産者価格百万円あたりのCO₂排出量原単位

4.4.3 鉄筋

鉄筋とはコンクリートと共存して使われる鉄鋼材料で、圧縮力には強いが引張力に弱いコンクリートと、引張りには強いが、錆びやすい欠点を持った鉄を合わせることで、圧縮力・引張力に強い構造体を作る材料である。カナダ・日本における鉄筋のエネルギー消費量原単位の差は4.5%と小さいが、エネルギー消費量原単位の差は日本がカナダに比べて約68%大きい。このことより、日本は一次エネルギーでCO₂

排出量の多い原油を多く使用してるため、鉄筋製造における日本のCO₂排出量原単位が大きくなったと推測できる。

また、両国における鉄筋のエネルギー消費量原単位がほぼ等しいということは、鉄筋製造に関する両国の技術・エネルギー効率が類似していると考察できる。この理由として、鉄筋は最も代表的な普通鋼で、鉄鋼製品の製造技術としては基本的な技術で製造できることがあげられる。両国における90%以上の鉄筋は、電気炉製法で鉄のリサイクルを主として製造される。

カナダの鉄筋エネルギー消費量原単位は、鉄骨エネルギー消費量原単位の約3.6倍、日本の鉄筋エネルギー消費量原単位は、鉄骨エネルギー消費量原単位の約5.8倍である。これは、異形形鋼と一般形鋼における圧延製造プロセスの違いによるものと考えられる。異形形鋼製造には一般的に高精度の仕上げ圧延機が使用されるとともに、一般形鋼と比べると製造過程の複雑さがあげられる。この製造過程の違いにより、両国における鉄筋のエネルギー消費量原単位が、鉄骨のエネルギー消費量原単位より大きいと考察できる。

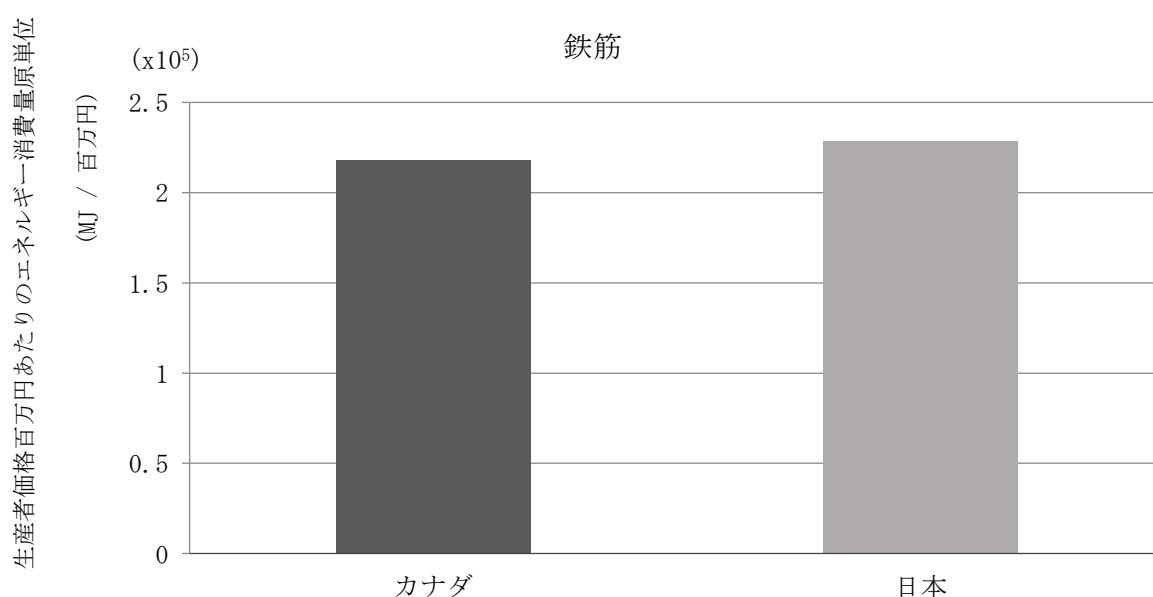


図 4.4-6 鉄筋における生産者価格百万円あたりのエネルギー消費量原単位

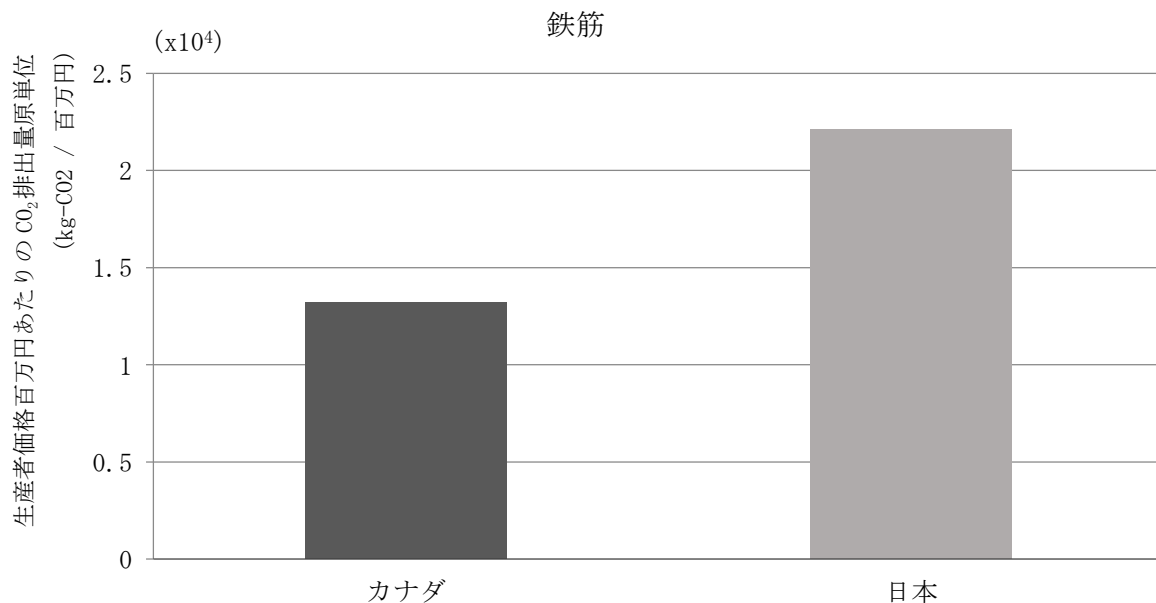


図 4.4-7 鉄筋における生産者価格百万円あたりの CO₂ 排出量原単位

4.4.4 鉄鋼

カナダにおける鉄鋼のエネルギー消費量原単位は、日本のエネルギー消費量原単位の約1.5倍である。しかし、両国の鉄骨におけるCO₂排出量原単位の差は約6%ほどである。このことよりも鉄骨製造における日本のエネルギー効率が、カナダよりも高いといえる。日本の鉄鋼製造におけるエネルギー効率が世界で最も高いという事実は、国際エネルギー機関（IEA）等、国際的な機関でも共通の認識としてされている。国際エネルギー機関によると、2005年における日本の鉄骨製造におけるエネルギー効率はカナダの約1.3倍である。一次エネルギーにCO₂排出量の多い原油を使用しているにもかかわらず日本のエネルギー消費量原単位がカナダより小さいことは、鉄骨製造に関する技術水準の高いと考えられる。

カナダで製造される鋼材の80%以上はオンタリオ州が占めており、ステルコ社（Stelco Inc.）は、鉄鋼生産能力年間590 万トン（2003 年は490 万トン）、金額にして27億カナダ・ドルを出荷しているカナダの大鉄鋼メーカーである。鉄骨製造に使用される天然ガス、電力などのエネルギーコストは年間7億Cカナダドル、鉄鋼生産費の30%近くにも達している。ステルコ社では、今後数年間にわたり2億カナダドルを投資し、鉄鋼製造過程で出る廃棄ガスを利用した発電を計画している。また

工場では、40基の風力発電装置の建設も考慮されている。カナダの多くの鉄鋼メーカーはエネルギーコスト削減のために、クリーンエネルギーの採用に積極的である。その結果、カナダの鉄鋼におけるCO₂排出量原単位は日本のCO₂排出量原単位より小さくなったと考えられる。

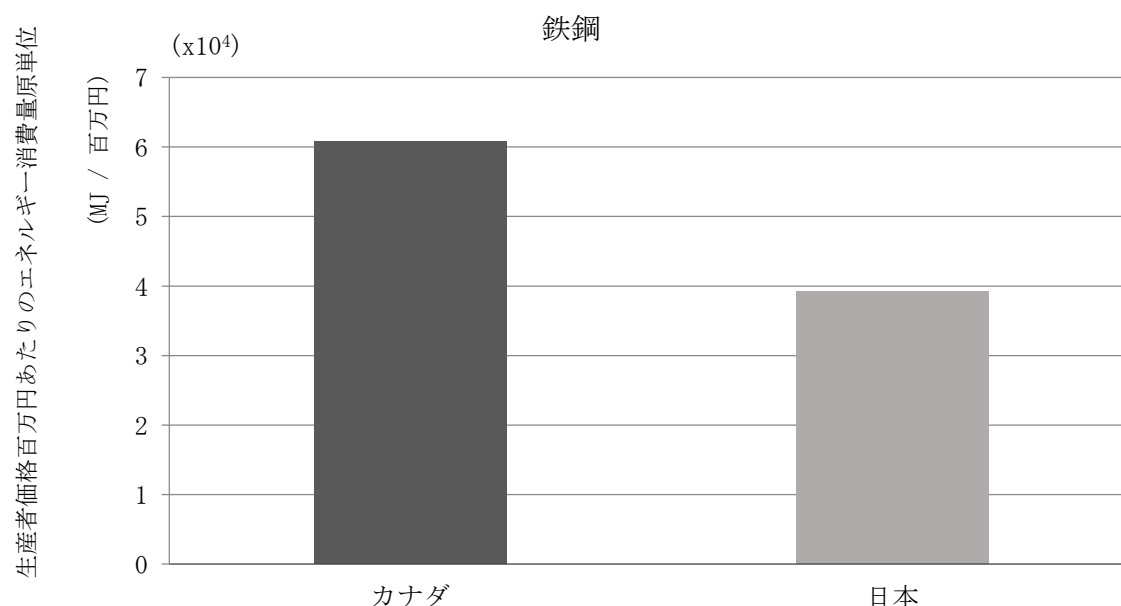


図 4.4-8 鉄鋼における生産者価格百万円あたりのエネルギー消費量原単位

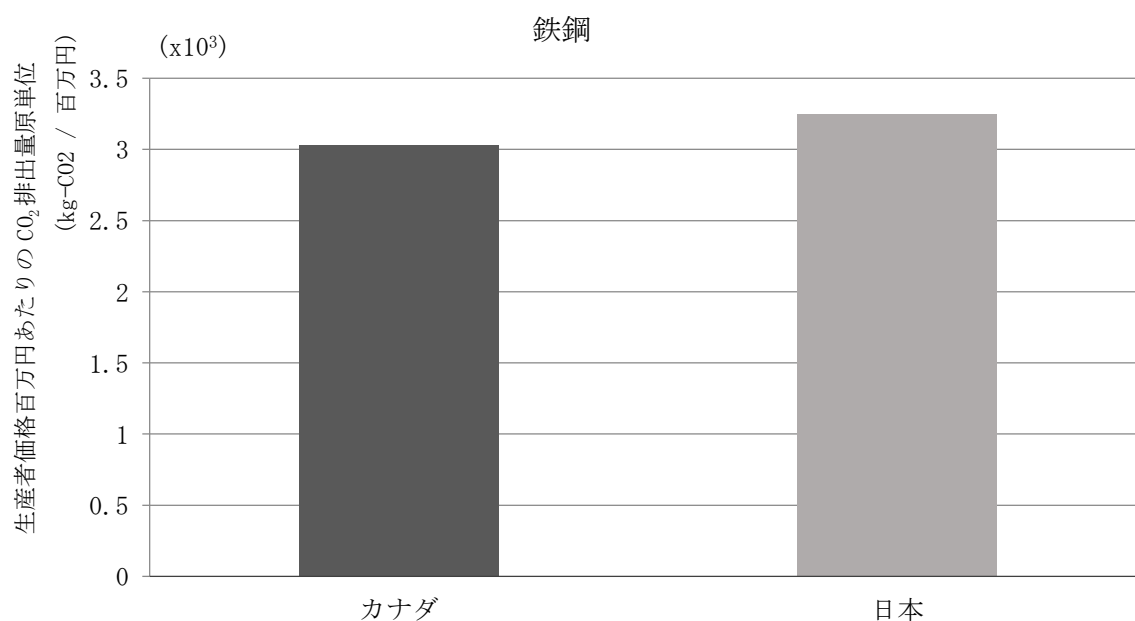


図 4.4-9 鉄鋼における生産者価格百万円あたりのCO₂排出量原単位

4.4.5 ガラス

日本におけるガラスのエネルギー消費量原単位は、カナダのエネルギー消費量原単位より約10%大きい。また、日本のガラスにおけるCO₂排出量原単位は約51%ほど大きい。鉄筋・鉄鋼産業と同様に、日本のガラス製造におけるエネルギー効率に比べ、日本のガラス製造にかかわるCO₂排出量原単位は一次エネルギーにCO₂排出量の多い原油を使用しているためカナダより大きい。

カナダ・日本のガラス産業は全産業の約1%に相当するエネルギーを消費するエネルギー多消費型産業であり、その大部分がガラス製造における溶融工程で消費されている。また、最近では液晶やプラズマディスプレイなどに用いられる高品質・高付加価値化ガラスの需要が増大の一途にあり、製造にかかるエネルギー消費はますます拡大する傾向にあるため、ガラス製造に係る省エネルギーのための抜本的技術開発は重要かつ緊急の課題である。両国における建築用ガラス製品はガラス製品全体の約80%を占め、これからも需要が高まると考えられている。

カナダで2013年度より建築基準法と併用されて使用されている省エネルギー法ASHRAE90.1, 2010及び、NEBCによると、窓・カーテンウォール等のガラスの使用は全外皮面積の40%以下と規制されている。このことより、北米における建築用ガラスの使用が減少するといわれている。現状としては、LEED等の建築物総合環境性能評価システムの発展により運用エネルギー消費量削減のためダブル（複層）ガラス、トリプルガラスを積極的に使用してきた。しかし、このような高性能ガラスの製造にかかわるエネルギー消費量原単位は非常に大きい。日本においても、省エネルギー法の改正や地方自治体による積極的な省エネルギー法の採用により、建築用ガラスの使用が減少し、両国のガラスにおけるエネルギー消費量原単位及び、CO₂排出量原単位の減少につながる考察できる。

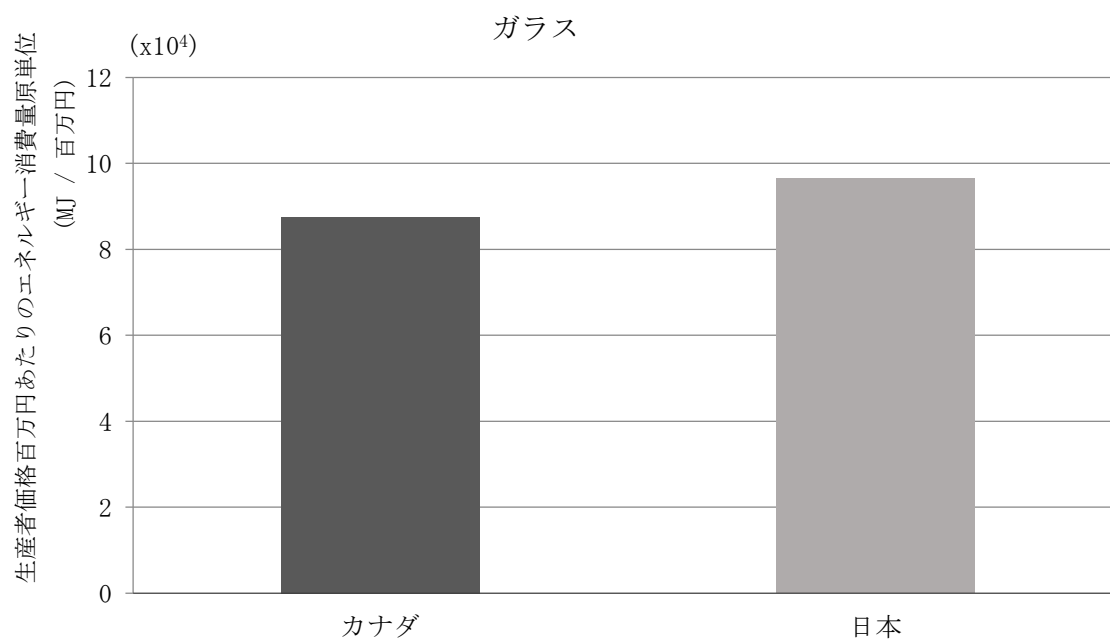


図 4.4-10 ガラスにおける生産者価格百万円あたりのエネルギー消費量原単位

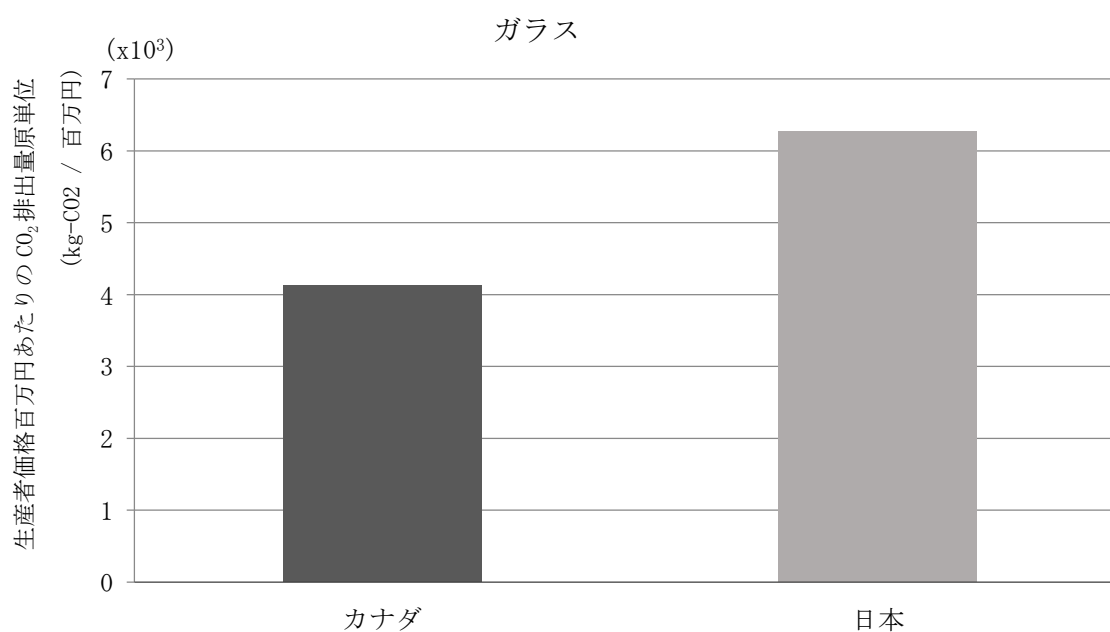


図 4.4-11 ガラスにおける生産者価格百万円あたりのCO₂排出量原単位

4.4.6 製材

カナダにおける木材のエネルギー消費量原単位は、日本のエネルギー消費量原単位より約 6.7 倍である。また、カナダの木材における CO₂ 排出量原単位は約 4.9 倍である。他の建築材料同様、カナダの木材製造におけるエネルギー効率に比べ、日本の木材製造にかかわる CO₂ 排出量原単位は一次エネルギーに CO₂ 排出量の多い原油を使用しているためカナダより大きいと考察できる。

カナダにおける木材産業は、カナダ全産業の約1.2%、日本の木材産業は日本全産業0.2%である。両国の木材産業の比率が、両国のエネルギー消費量原単位にそのまま現れた形となった。カナダのブリティッシュ・コロンビア（BC）州には5,500万ヘクタールの森林があり、森林には約110億立方メートルの木材が存在している。また、BC州はカナダの太平洋岸に位置し、アジア、欧州、北米の主要市場に容易にアクセスすることができる土地的好条件のほか、北米一低価格の水力電気を主なエネルギー源として林業作業のコストの節約が可能である。しかし、図4.4-12に示すようにカナダの林産業におけるエネルギー消費量は、2004年以降減少していることが分かる。このことは、カナダの林産業におけるエネルギー効率の向上が2004年以降向上していることを示すが、依然日本と比較するとエネルギー効率の改善が必要とされることは否めない状況にある。このことより、日本とカナダにおける木材のCO₂排出量原単位の差は、エネルギー消費量原単位の比べて小さいことが分かる。

日本は国土の3分の2を森林が占めるほど木材資源に恵まれた国であり、先進国の中で森林率がこれほど高い国は北欧以外には存在しない。ところが、国産材の供給は1960年代半ばをピークに低下し、木材加工産業も疲弊している。大きな理由として、丸太の内外価格差が上げられる。欧州の丸太価格は工場着価格で8000円/m³前後であり、日本の杉で2万円、ヒノキに関しては4万円を上回る価格である。このため、多くの輸出国は十分に採算がとれ、日本では国産材より安価な輸入材を用いている。

また、多くの輸入材は人工乾燥されているため、人工乾燥するエネルギーが加算されないことが日本におけるエネルギー消費量原単位が小さい大きな原因と考察できる。

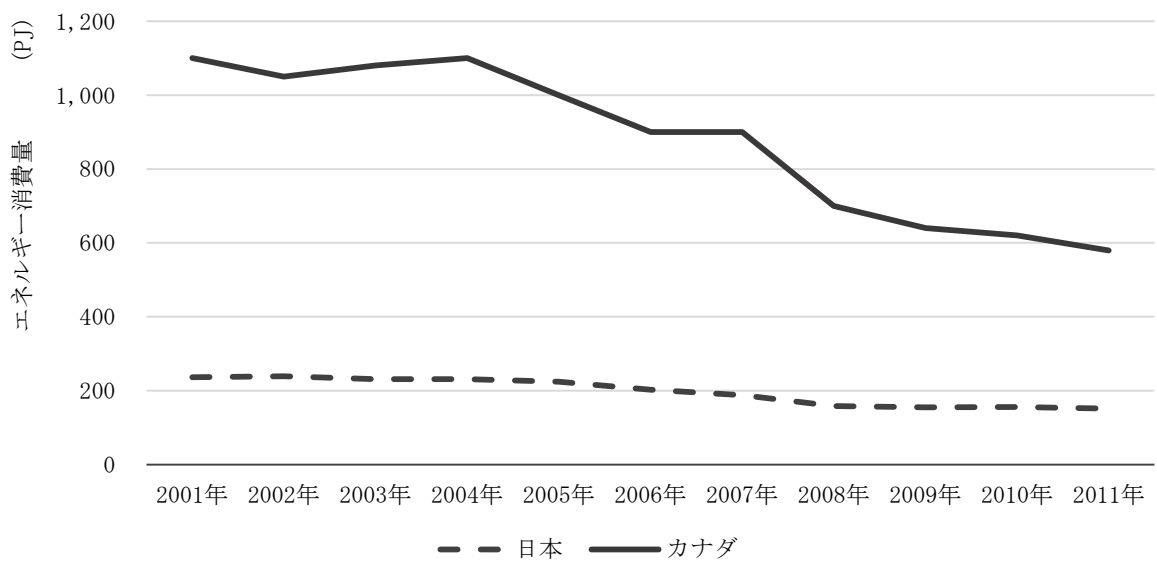


図 4.4-12 林業のエネルギー消費量の変化

出典：(文献 7)

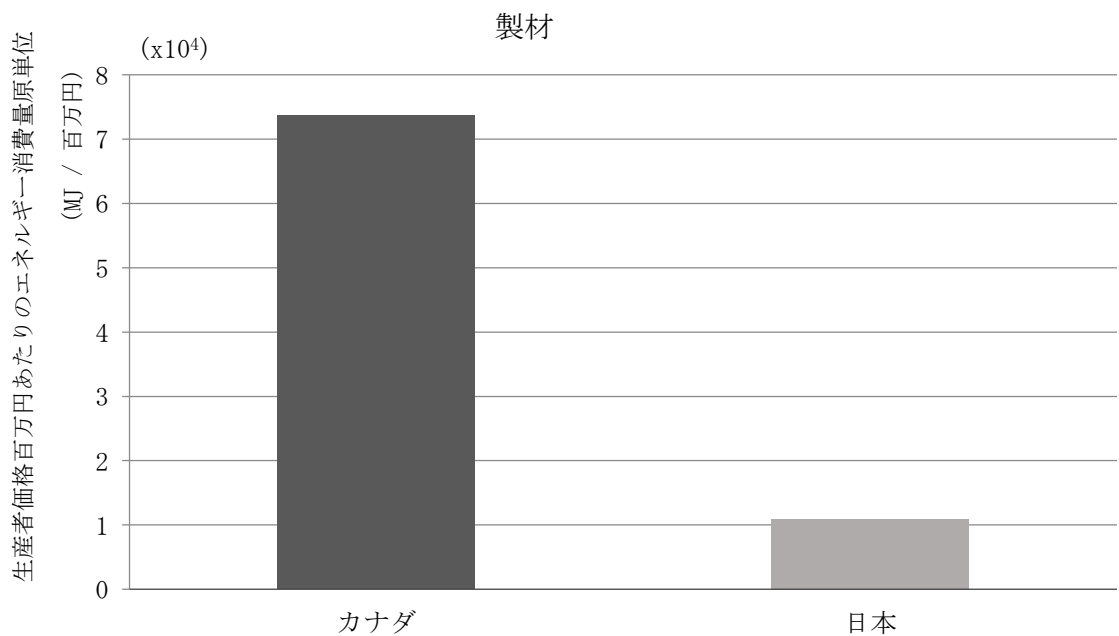


図 4.4-13 製材における生産者価格百万円あたりのエネルギー消費量原単位

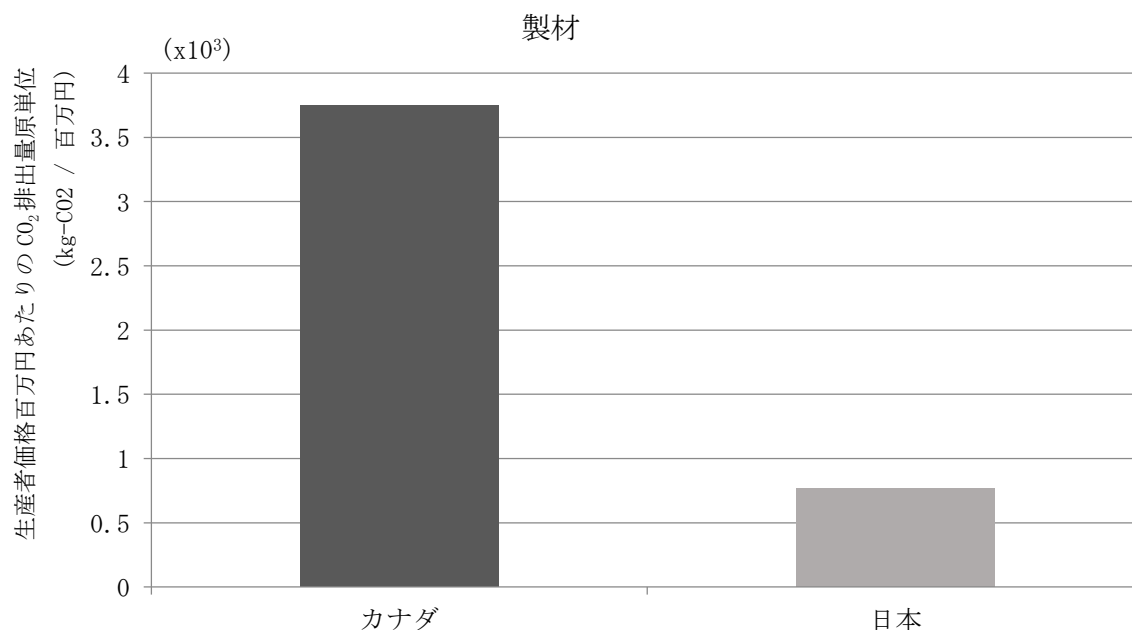


図 4.4-14 製材における生産者価格百万円あたりの CO₂ 排出量原単位

4.4.7 合板・木質ボード

カナダにおける合板・木質ボードのエネルギー消費量原単位は日本のエネルギー消費量原単位より約 2.5 倍である。また、カナダの木材における CO₂ 排出量原単位は約 1.8 倍である。カナダと日本の製材・合板におけるエネルギー消費量原単位の差は木材のエネルギー消費量原単位の差に比べ 63%小さい。このことは、カナダの製材・合板生産におけるエネルギー効率が木材生産活動に比べて良いことがあげられる。

カナダと日本の製材と木質パネルの比率を比較すると、カナダ・日本ともに 7:3 の比率になっている。しかし、木質パネルの内訳をみると、日本では木質パネルのうち木質ボードは 30%のみで、残り 70%の合板が主流となっている。カナダにおいてその比率は逆転し、木質ボードが 70%を占め合板が 30%となっている。カナダにおける木質ボード（OSB）は使用方法のない未利用材や、小径木、間伐木などを原料としている。また、樹皮などはボイラー燃料としているため、原木歩留まりは 90%弱と非常に高く、合板よりエネルギー効率が低いといえる。そのため、日本のエネルギー消費量原単位と比較したとき、木質ボードを多く生産しているカナダの合板・木質ボードエネルギー消費量原単位の差が、製材のエネルギー消費量原単位の

差より大きく減少した理由であると考ええる。また，多くの輸入材は人工乾燥・モルダーがけされており，国産製材を使用するより合板・木質ボード製造のエネルギー効率は高いと考えられる。このことよりも，日本の合板・木質ボードのエネルギー消費量原単位が，カナダにおける合板・木質ボードのエネルギー消費量原単位より低いと考えられる。

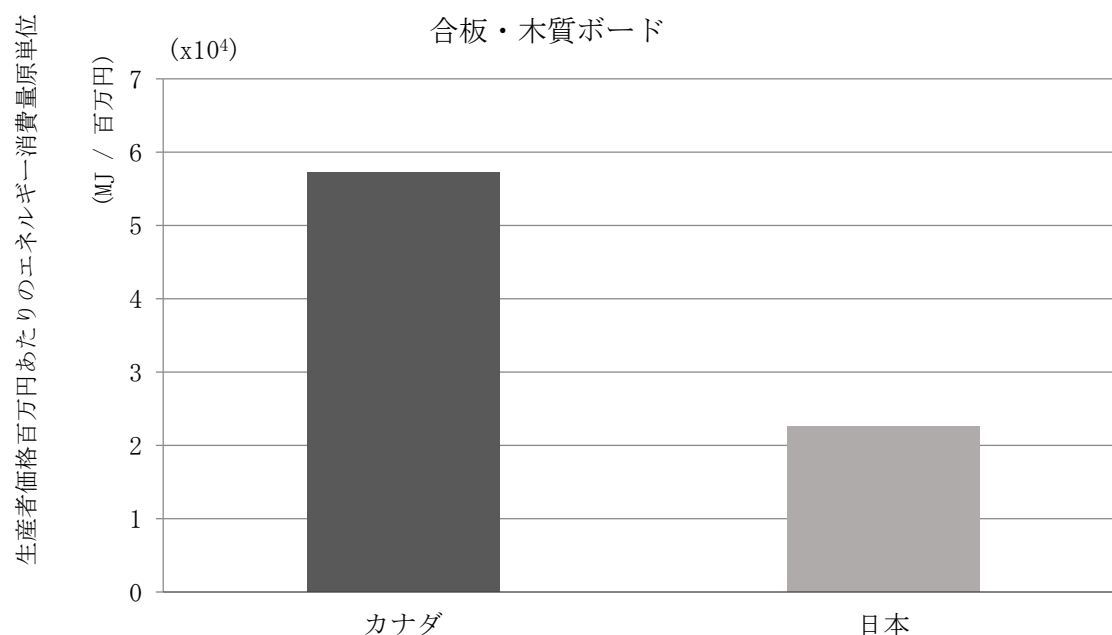


図 4.4-15 合板・木質ボードにおける生産者価格百万円あたりのエネルギー消費量原単位

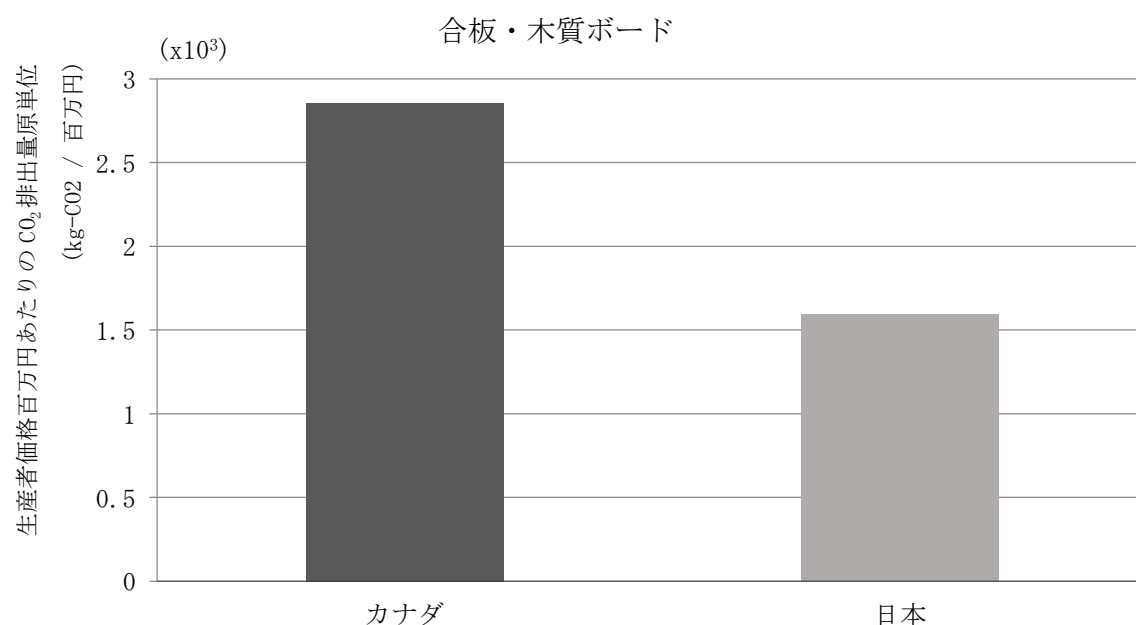


図 4.4-16 合板・木質ボードにおける生産者価格百万円あたりのCO₂排出量原単位

4.5 まとめ

本章では、カナダ・日本のエネルギー消費量原単位・CO₂排出量原単位の観点から産業構造の特徴を分析した。単位金額当たりの日本のエネルギー消費量原単位・CO₂排出量原単位を基に建築産業レベル、建物レベル、建築部材レベルそれぞれのレベルにおいてカナダ・日本のエネルギー消費量原単位・CO₂排出量原単位のデータを整備した。また、それらのデータの相互比較を行うことによって、カナダ・日本における建築産業レベル、建物レベル、建築部材レベルの特徴を明確にしめし、今後の各レベルにおけるエネルギー消費量及びCO₂排出量の改善点を検討するためのデータを整備した。

以下に結果を要約する。

- 1) カナダ・日本の主要な一次エネルギー消費量を詳しく考察してみると、カナダは、原油(32%)、天然ガス(26%)、水力(25%)であり、日本は、原油(47%)、石炭(24%)、原子力(13%)、天然ガス(13%)である。
- 2) 日本のエネルギー自給率は4%（原子力を国産エネルギーとしても18%）と低いものとなっている。一方、カナダは、石炭、石油、天然ガス等のエネルギー資源に恵まれており、石油輸出量については全体の4.5%、天然ガス輸出量についてはパイプラインによるガス貿易全体の19.5%を占めている。
- 3) カナダのGDP単位当たりにおける一次エネルギー供給量及びCO₂排出量の比率は、約日本の3倍である。また、1人当たりの1次エネルギー消費量及びCO₂排出量は、日本の約2倍である。
- 4) カナダ・日本の産業構造の違いをGDP比で見ると、カナダの第一次産業は日本の約1.5倍であるが、第二・第三次産業の数値に差はない。
- 5) カナダ・日本の住宅建設におけるエネルギー消費量原単位に差は少ないが、日本の非住宅建設のエネルギー消費量原単位はカナダより約15%大きい。日本の住宅建設・非住宅建設のCO₂排出量原単位はカナダより約40%大きくなった。カナダの土木部門に関してのエネルギー消費量原単位は日本より約50%大きく、CO₂排出量原単位は日本より約13%大きくなった。

- 6) 日本のセメントにおける生産者価格百万円当たりのエネルギー消費量原単位は、カナダより4.2%大きい。また、日本のセメントにおける生産者価格百万円当たりのCO₂排出量原単位はカナダより38%大きい。
- 7) コンクリートのエネルギー消費量原単位では、カナダの方が約2.3倍も日本より大きい。セメントのCO₂排出量原単位では日本の方が約1.3倍大きくなった。
- 8) カナダ・日本における鉄筋のエネルギー消費量原単位の差は4.5%と小さいが、CO₂排出量原単位の差は日本がカナダに比べて約68%大きい。このことより、日本は一次エネルギーでCO₂排出量の多い原油を多く使用しているため、鉄筋製造における日本のCO₂排出量原単位が大きくなったと推測できる。
- 9) カナダにおける鉄鋼のエネルギー消費量原単位は、日本のエネルギー消費量原単位の約1.5倍であるが、両国の鉄骨におけるCO₂排出量原単位の差は約6%ほどである。
- 10) 日本におけるガラスのエネルギー消費量原単位は、カナダのエネルギー消費量原単位より約10%大きい。また、日本のガラスにおけるCO₂排出量原単位は約51%ほど大きい。
- 11) カナダにおける木材のエネルギー消費量原単位は日本のエネルギー消費量原単位より約6.7倍である。また、カナダの木材におけるCO₂排出量原単位は約4.9倍である。
- 12) カナダにおける合板・木質ボードのエネルギー消費量原単位は日本のエネルギー消費量原単位より約2.5倍である。また、カナダの木材におけるCO₂排出量原単位は約1.8倍である。カナダと日本の製材・合板におけるエネルギー消費量原単位の差は木材のエネルギー消費量原単位の差に比べ63%小さい。

第4章 参考文献

- 1) 芦村昌士，沼田博美，横山計三，竹林芳久，横尾昇剛，岡建雄：2005年産業連関表によるCO₂排出量原単位の作成と流通マージンの分析に関する研究，日本建築学会環境系論文集，No. 653, p653-659, 2010. 7

- 2) 魚本健人, 信田佳延, 山田一夫: 委員会報告, コンクリート材料ならびに関連規格の国際調査研究委員会, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 1, p11-22, 2010
- 3) 経済産業省, 資源エネルギー庁, エネルギー白書 2004, (<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2004html/>)
- 4) 高度情報科学技術研究機構: (<http://www.rist.or.jp/index.html>)
- 5) IEA: CO2 Emissions From Fuel Combustion Highlights, 2004, (<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/CO2EmissionsFromFuelCombustionHighlights2014.pdf>)
- 6) BP: http://www.bp.com/ja_jp/japan/report/bp-statistics.html
- 7) Natural Resources Canada, Forest Resources, (<http://www.nrcan.gc.ca/forests/resources/13507>)
- 8) 新エネルギー・産業技術総合開発機構: 新エネルギーの導入を進めるカナダ企業, NEDO 海外レポート, NO. 970, 2006, (<http://www.nedo.go.jp/content/100106554.pdf>)
- 9) ATHENA Institute: Cement And Structural Concrete Products, Life Cycle Inventory Update #2, 2005, (http://calculatelca.com/wp-content/themes/athena/images/LCA%20Reports/Cement_And_Structural_Concrete.pdf)
- 10) 経済産業省, 主要国の一次エネルギー源と消費量環境・エネルギー, (<http://www.meti.go.jp/intro/kids/ecology/11.html>)
- 11) セメント協会: セメント業界の取り組み, (<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g90403a09j.pdf>)
- 12) Natural Resources Canada, Comprehensive Energy Use Database, (http://oee.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/trends_agg_ca.cfm)
- 13) 内閣府, 経済活動別国内総生産, (http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/data/data_list/kakuhou/files/h25/h25_kaku_top.html)
- 14) Statistics Canada, 2004. Gross Domestic Product By Industry, 15001-XIE, (<http://publications.gc.ca/Collection-R/Statcan/15-001-XIE/0080515-001-XIE.pdf>)

第5章 カナダ・日本における事務所建築建設に伴う エネルギー消費量・CO₂排出量の分析

5.1 概要

4章では、カナダ・日本の建築産業、建物、主要建築部材それぞれのエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の特性について分析を行った。本章は、建築物の用途や建築手法によるエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位への影響を明らかにすることを目的としている。カナダ・日本両国の建物仕様・構造及または建築手法により使用する建築材種・建築部材の消費量が異なることから、これらの建築的背景が建築物建設における全体のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位にどのように影響を与えるかを分析・比較するものである。分析には、カナダ・日本それぞれにモデル事務所建築を設定した。日本のモデル事務所建築は、出版されている資料から建設見積書を選定し、カナダのモデル事務所建築は建築設計事務所から実際建設された建設見積書から設定された。これらの資料から、工事金額、建築部材消費量、建設工程などを参照し、事務所建築建設に伴うエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を算出し考察する。

5.2 モデル事務所建築概要

分析対象とするカナダのモデル事務所建築 1（カナダ）、2（カナダ）は、実際建設された建物の設計図書及び見積書からモデル事務所建築を設定した。分析対象とする日本のモデル事務所建築 3（日本）、4（日本）は、出版されている資料から建設工事見積書を算定し設定した。カナダ・日本における分析対象建物の概要を表 5.2-1, 2 に示す。また、図 5.2-1, 2 に基準階平面図を示す。

- カナダのモデル事務所建築 1（カナダ）を図 5.2-1、モデル事務所建築 2（カナダ）図 5.2-2 に示す。事務所建築 1（カナダ）は一般的な鉄筋コンクリート事務所建築、事務所建築 2（カナダ）は環境配慮型の鉄筋コンクリート事務所建築である。
- 日本のモデル事務所建築 3（日本）、4（日本）は、カナダの事務所建築と同規模の事務所建築を既存文献のデータ（文献7）より引用された一般的な鉄筋コンクリート造事務所建築である。モデル事務所建築 3（日本）、4（日本）は

ほぼ同型の事務所建築のためモデル事務所建築 3（日本）の図面のみを示す（図 5. 2-3）。

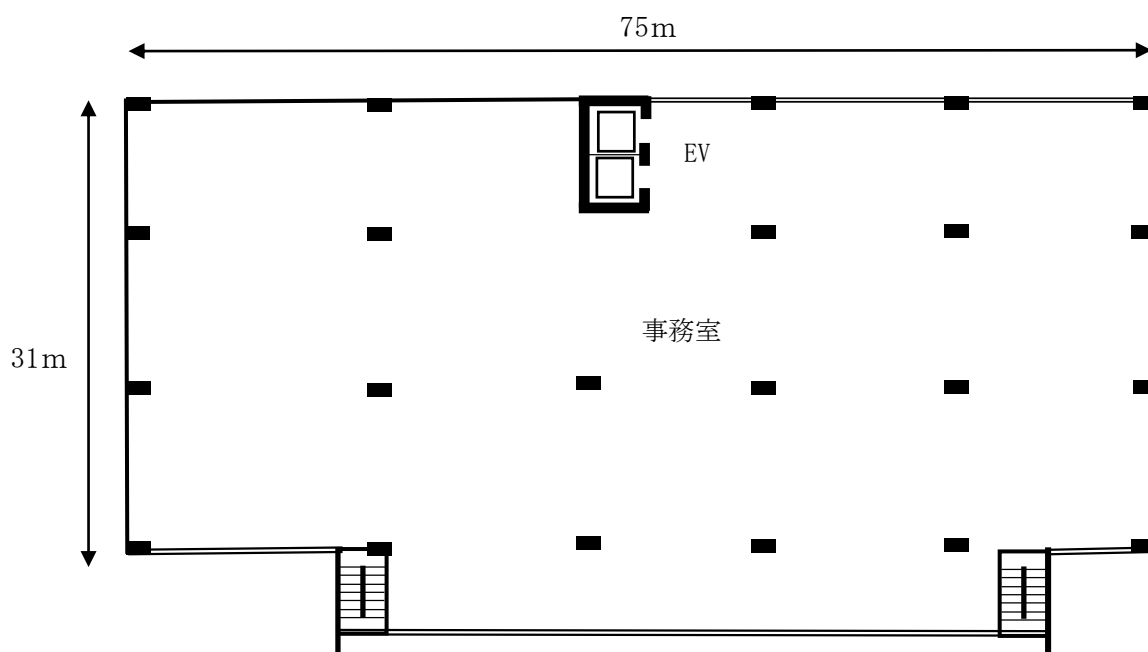


図 5. 2-1 事務所建築 1（カナダ）分析対象事務所建築の基準階平面図

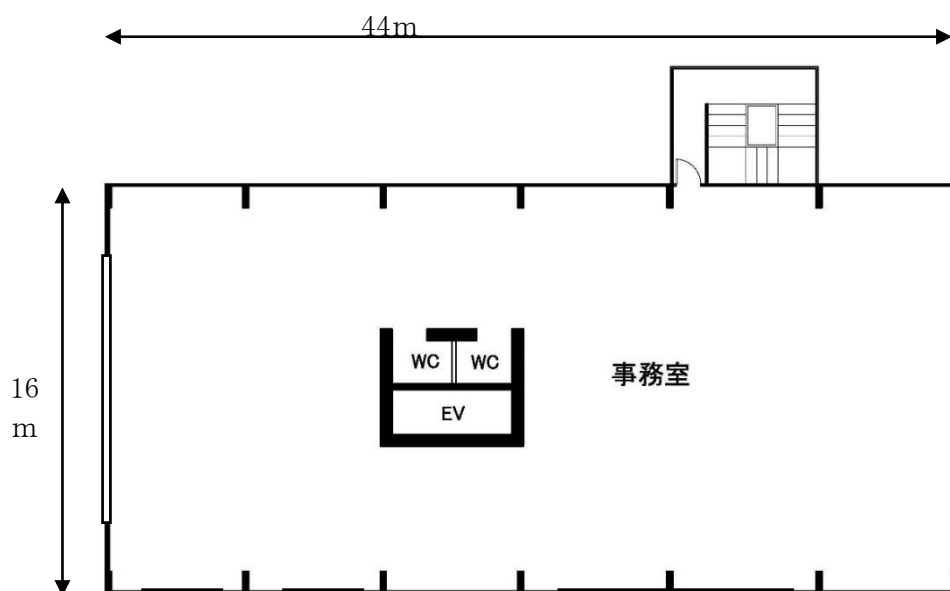


図 5. 2-2 事務所建築 2（カナダ）分析対象事務所建築の基準階平面図

表 5.2-1 カナダ分析対象事務所建築の概要

	事務所建築 1 (カナダ)	事務所建築 2 (カナダ)
述べ床面積	12,459m ²	6,308m ²
階数	F4-B1	F7-B1
主要構造	RC 造	RC 造
建物用途	事務所	事務所
外装	カーテンウォール(窓面積:48%) 外装アルミパネル/コンクリート 複層ガラス	カーテンウォール(窓面積:33%) 外装アルミパネル 複層ガラス
内装	壁用石膏ボード	壁用石膏ボード
天井	天井用石膏ボード	天井用石膏ボード
空調	中央式	中央式

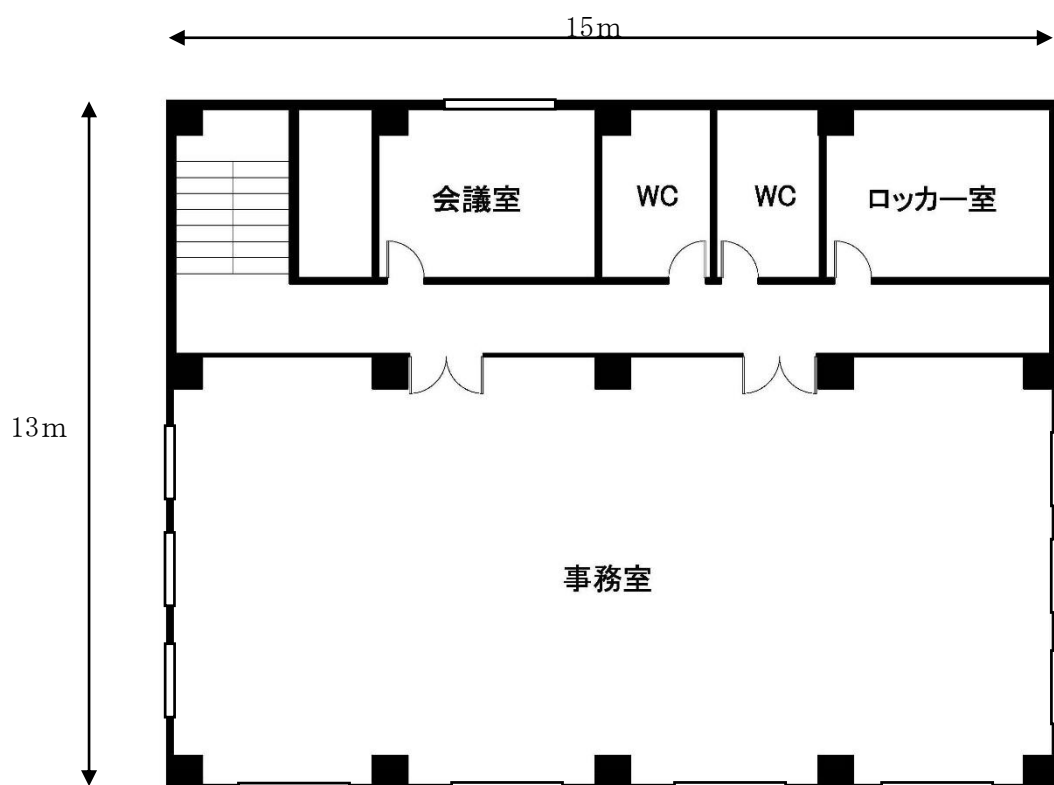


図 5.2-3 事務所建築 3（日本）分析対象事務所建築の基準階平面図

表 5.2-2 日本分析対象事務所建築の概要

	事務所建築 3（日本）	事務所建築 4（日本）
述べ床面積	1,340m ²	1,253m ²
階数	F7	F7-B1
主要構造	RC 造	RC 造
建物用途	事務所	事務所
外装	石・タイル アルミサッシ 複層ガラス	石・タイル アルミサッシ 複層ガラス
内装	壁用石膏ボード	壁用石膏ボード
天井	天井用石膏ボード	天井用石膏ボード
空調	パッケージ	マルチ

5.3 モデル事務所建築のエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の分析方法

本節では、カナダ・日本両国のモデル事務所建築を使用して図 5.3-1 が示す 2 通りの分析方法を行う。

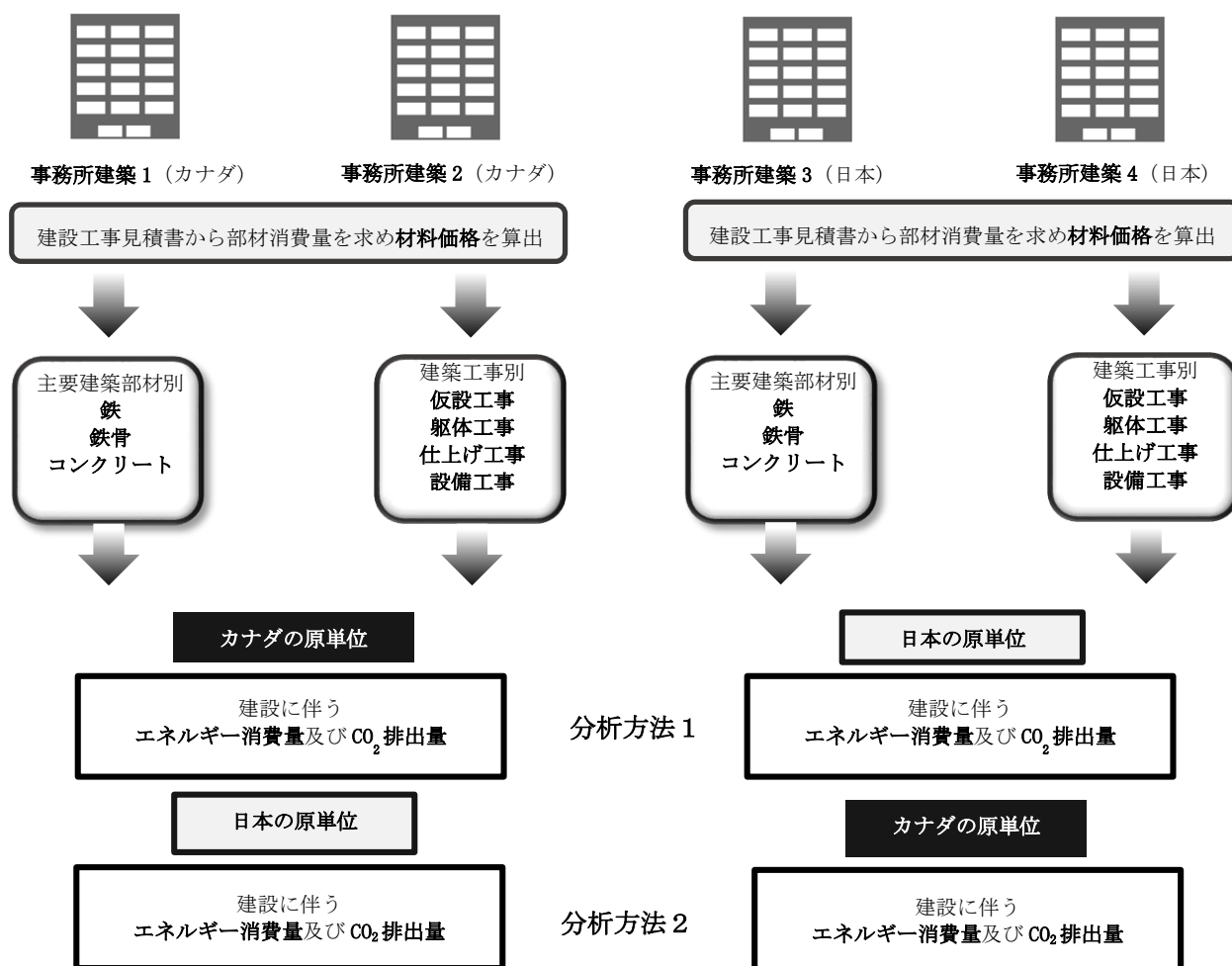


図 5.3-1 カナダ・日本のモデル事務所建築の分析方法

5.3.1 分析方法 1

分析方法1（図 5.3-1）は、カナダ・日本のモデル事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）、3（日本）、4（日本）の建設に伴うエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の算出を行う。まず、分析を行う事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）、3（日本）、4（日本）それぞれの建設工事見積書から仮設工事、躯体工事、仕上げ工事、設備工事それぞれの工事分類においての部材が使用される工事項目ごとの部材消費量または単位金額から材料価格を算出する。

次に、算出した建築部材の消費量または材料価格に単位物量または単位金額のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を乗じる。これにより事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）、3（日本）、4（日本）それぞれのエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を算出する。

主要建築部材である鉄筋、鉄骨、コンクリートについては、物量ベースでエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を計算する。建設見積書から算出した鉄骨、コンクリートの消費量にそれぞれの単位物量あたりの原単位を乗じることで算出する。それ以外の建築部材については、金額ベースでエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を計算する。多くの部材がいくつかの材料が組合わさった集合体（例えば、エアコンディショナーや衛生器具など）は、物量ベースによる算出が困難なことから金額ベースによる算出方法を採用した。

建築部材が使用される工事項目ごとの単位金額は、材料価格と人件費などの付加価値で構成されているため、材料価格の算出に際して建設工事標準歩掛かりなどを使用して求めた。さらに、工事項目ごとの単位金額から分離した材料価格は、購入者価格であるため産業連関表に記載されている平均的な流通マージン及び運賃を減じることで生産者価格とする。得られた建築物の建設に伴う建築部材の最終需要額に建築部材の該当産業部門の単位生産者価格あたりのエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を乗じることでモデル事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）、3（日本）、4（日本）のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を算出する。

分析に用いるカナダのエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位については、第4章で算出した原単位を用いる。日本のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位は、文献[2]の算出方法を参考にし、2005年の産業連関表から求めた原単位を用いた。

5.3.2 分析方法2

図5.3-1に示す分析方法2では、カナダ・日本の原単位の違いが事務所建築建設に伴うエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位にどのように影響するかを明らかにすることを目的とする。分析には、カナダのモデル事務所建築に対応した原単位用いず、カナダのモデル事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）には日本の原単位を、日本のモデル事務所建築3（日本）、4（日本）にはカナダの原単位を用いることでカ

ナダのモデル事務所建築1（カナダ），2（カナダ）を日本で建築する場合と，日本のモデル事務所建築3（日本），4（日本）をカナダで建築する場合を想定する。

5.4 工事金額・部材量の比較

カナダ・日本の対象事務所建築 1（カナダ），2（カナダ），3（日本），4（日本）の単位面積当たりの工事費を図 5.3-1 に示す。仮設工事費は事務所建築 1（カナダ），2（カナダ），3（日本），4（日本）で差は小さく，躯体工事費は事務所建築 3（日本），4（日本）の平均が事務所建築 1（カナダ），2（カナダ）の平均より 1.6 倍大きい。表 8 にあるように，日本の事務所建築は耐震構造等の理由により，事務所建築 3（日本），4（日本）の平均コンクリート使用量は事務所建築 1（カナダ），2（カナダ）の平均コンクリート使用量の約 1.9 倍，そしてコンクリートに対する平均鉄筋使用量も事務所建築 1（カナダ），2（カナダ）に比べて約 1.2 倍大きくなっている。事務所建築 2（カナダ）における仕上げ工事費は，断熱性能の高いメタルパネルと二重カーテンウォールなどを多く用いた事務所建築のため，事務所建築 3（日本），4（日本）の仕上げ工事費の平均より約 1.3 倍大きくなっている。しかし，事務所建築 3（日本），4（日本）の仕上げ工事費は，事務所建築 1（カナダ）の約 1.4 倍大きい。

一方，設備工事費は事務所建築 1（カナダ）が事務所建築 3（日本），4（日本）の平均より約 1.2 倍大きい。一般的なカナダの事務所建築は，中央式 VAV 方式を使用する傾向があるため，設備工事費が日本の事務所建築より高くなった。また，事務所建築 2（カナダ）はエネルギー効率の向上のために高性能な空調設備を使用しているため，事務所建築 3（日本），4（日本）の平均より約 1.9 倍の費用が掛かっている。

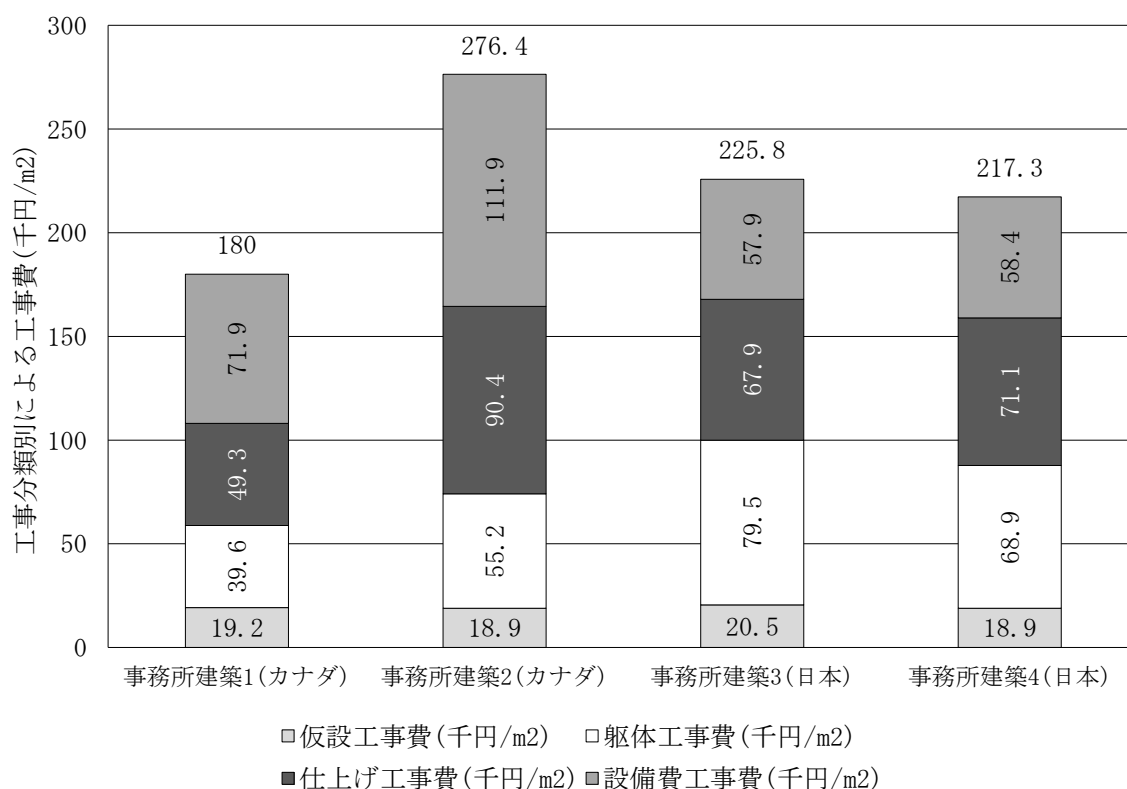


図 5.3-1：工事費用の比較

5.5 部材量の比較

建築物の建設に伴う主要建築部材の消費量を分析するにあたり，事務所建築1（カナダ），2（カナダ），3（日本），4（日本）それぞれの建設工事見積書からその消費量を算出する。表5.5-1が示すように，分析対象とする建築部材は，現場打ちコンクリート，鉄骨，鉄筋とした。

表 5.5-1：単位面積当たりの部材量比較

	事務所建築 1 (カナダ)	事務所建築 2 (カナダ)	事務所建築 3 (日本)	事務所建築 4 (日本)
コンクリート (m³/m²)	0.52	0.54	1.13	0.89
鉄骨 (kg/m²)	12.58	18.4	0	0
鉄筋 (kg/m²)	48.96	68.8	143.6	134.3

5.5.1 現場打ちコンクリート

現場打ちコンクリートの消費量の差は、構造及び、基礎形式の構造の違いに因るところが大きいと考えられる。まず、事務所建築3（日本）を除き、事務所建築3棟は地下一階の事務所建築であるにもかかわらず、事務所建築3（日本）におけるコンクリート使用料が他の事務所建築よりも多い。このことより、地下一階の事務所建築建設におけるコンクリート使用量は、全コンクリート使用料に大きな影響を与えていないことが分析できる。

第一に、基礎形式の違いがコンクリートの消費量に影響を及ぼしていると考えられる。両国の基礎形式を比較してみると、事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）は独立基礎形式であるのに対して、事務所建築3（日本）、4（日本）はべた基礎形式である。一般的にべた基礎形式の現場打ちコンクリートの消費量は、独立基礎形式に比べ大きい。べた基礎形式は地面から上がる湿気を防ぎ、施工手間がかからない理由から日本では多く使用されている。

第二に、事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）ではスラブ以外にコンクリートを使用していないことがあげられる。特に外壁、窓等の構造としてコンクリートを使用せずスチール製の柱（HSS）を用いることがカナダの建設手法と考察できる。大きな理由として、コンクリートの使用を削減し、建築全体の重量を下げる意図がある。このことより、建物全体の構造を低減しコストもしくは建築物建設におけるエネルギー消費量の削減につながっていると考えられる。

このように両国の建築文化・技術の相違における構造及び、基礎形式の違いが大きく影響して、事務所建築 1（カナダ）、2（カナダ）の現場打ちコンクリートの消費量が事務所建築 3（日本）、4（日本）より平均 1.9 倍大きいと考えられる。

5.5.2 鉄骨

本研究のモデル事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）、3（日本）、4（日本）は4棟とも鉄筋コンクリート造である。このことより、図5.5-1が示すように事務所建築3（日本）、4（日本）の鉄骨使用量は0(kg/m²)である。しかし、事務所建築1（カナダ）は12.58(kg/m²)、事務所建築2（カナダ）において18.4(kg/m²)の鉄骨が使用されている。カナダの鉄筋コンクリート造の特徴として、HSS (Hollow Structural Section) というスチール製の柱が使用される。このHSSというスチール製の柱は、鉄筋コンク

リートや鉄骨のような主要部材ではなく、カーテンウォールや階段、キャノピーなどを支えたりするための柱で、建物に付随するもののための部材である。そのため、日本の鉄筋コンクリート造と違い通常鉄筋コンクリートを使用して補強する箇所を、カナダではこのHSSを使用して補強している。このことより、事務所建築3（日本）、4（日本）のコンクリート・鉄骨使用量が、事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）より約2倍以上高いことが考えられる。

また、HSSの特徴としては建築費、耐火性、耐久性、そしてリサイクル性が高いことがあげられる。HSS全体の再生利用率は66%で、建築産業の木材消費を抑え耐久性は118年という理論数値が出ている。事務所建築1（カナダ）、事務所建築3（日本）の躯体工事における建築費を比較してもわかるように、HSSの使用により、カナダの事務所建築は躯体工事費を日本の事務所建築に比べて大きく削減しているのが分かる。また、カナダにおける耐火建築物における木材の使用は非常に規制されており、スプリンクラーの使用が義務づけられている。このことよりも、HSSの使用がカナダの事務所建築建設において重要な役割を担っていることが分かる。

5.5.3 鉄筋

事務所建築 3（日本）、4（日本）の平均コンクリート使用料は、事務所建築 1（カナダ）、2（カナダ）における平均コンクリート使用料の 1.9 倍である。同様に鉄筋量について考察してみる。事務所建築 3（日本）、4（日本）の平均鉄筋使用料は、事務所建築 1（カナダ）、2（カナダ）における平均鉄筋使用料の 2.4 倍である。コンクリートでも考察したように、コンクリートの使用料の差が鉄筋の使用量に表れたと考えられる。

また、コンクリートに対する、平均鉄筋使用量を考察してみる。事務所建築 3（日本）、4（日本）におけるコンクリート（ m^3/m^2 ）に対する平均鉄筋使用量の事務所建築 1（カナダ）、2（カナダ）の約 1.2 倍となった。これは、日本とカナダにおける耐震設計による相違とみられる。カナダのバンクーバーは地震の多い西海岸に位置している。しかし、カルフォルニア地域などと違い地震発生率は極めて低いとされ、バンクーバーにおける建築基準法の特徴として、“耐震構造”よりも“耐火構造”があげられる。よって、事務所建築 1（カナダ）、2（カナダ）の柱に作用する曲げモーメントを発生させる大きな要因は、軸力の偏心、風の作用などである。いずれも地

震作用に比較すれば相当に小さいと言え、軸方向の鉄筋量ならびに有効高さ(柱断面寸法)は小さくて済む。このことより、事務所建築 3 (日本), 4 (日本)の平均鉄筋使用量は事務所建築 1 (カナダ), 2 (カナダ)の約 1.2 倍となった。

5.6 モデル事務所建築のエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の分析結果

5.6.1 分析方法 1 – 主要部材別エネルギー消費量および CO₂ 排出量

主要部材別 (CO₂ 排出量が多い部材, 単位面積当たりの使用量が多い部材, 主要構造の部材などから考えて, コンクリート, 鉄筋, 鉄骨の 3 種類) の投入金額当たりのエネルギー消費量を図 5.6-1 に, CO₂ 排出量を図 5.6-2 にそれぞれ示す。

事務所建築 4 (日本)の投入金額当たりのコンクリートのエネルギー消費量は, 他のモデル事務所建築 1 (カナダ), 2 (カナダ), 3 (日本)の平均と比較して約 20%小さい。単位面積当たりのコンクリート部材量を国別に比較してみると, 事務所建築 1 (カナダ), 事務所建築 2 (カナダ)におけるコンクリート部材量の差は小さい。一方, 事務所建築 4 (日本)のコンクリート部材量は事務所建築 3 (日本)の部材量と比較して約 21%小さい。同国内における単位面積当たりの部材量の変化は, 単位面積当たりの部材量の投入金額に比例することから, 事務所建築 4 (日本)におけるコンクリートの部材量の差が投入金額当たりのコンクリートにおけるエネルギー消費量の差に表れたと考えられる。カナダ・日本の事務所建築における投入金投入金額当たりのコンクリートの CO₂ 排出量の差もエネルギー消費量の差と同様に, 単位面積当たりのコンクリート部材量の相違が投入金額の差となり CO₂ 排出量の差として現れた。しかし, カナダ・日本両国間のモデル事務所建築 1 (カナダ), 2 (カナダ), 3 (日本), 4 (日本)におけるエネルギー消費量の差がほぼ等しいにもかかわらず, 事務所建築 3 (日本)の CO₂ 排出量が事務所建築 1 (カナダ), 事務所建築 2 (カナダ)の平均より約 82%大きくなった。これは, 日本のコンクリート製造過程でのエネルギー源が化石エネルギーに依存しているためだと考えられる。

鉄筋の投入金額当たりのエネルギー消費量を比較すると, 事務所建築 1 (カナダ)でのエネルギー消費量がモデル事務所建築 2 (カナダ), 3 (日本), 4 (日本)の平均より約 29%小さい。また, 事務所建築 1 (カナダ)における単位面積当たりの鉄筋量は事務所建築 2 (カナダ)より約 29%小さい。このことより, 単位面積当たりの鉄筋

量の差が鉄筋の投入金額の差となり、事務所建築 1（カナダ）における鉄筋のエネルギー消費量が小さくなった。またコンクリート同様に、日本の鉄筋製造過程でのエネルギー源が化石エネルギーに依存しているため、事務所建築 1（カナダ）、事務所建築 2（カナダ）の鉄筋における平均 CO₂ 排出量と事務所建築 3（日本）、事務所建築 4（日本）の平均の差はエネルギー消費量の平均の差よりも大きくなった。事務所建築 3（日本）、事務所建築 4（日本）の平均エネルギー消費量は事務所建築 1（カナダ）、事務所建築 2（カナダ）の平均より約 18%大きく、CO₂ 排出量は約 53%大きくなった。

鉄骨のエネルギー消費量・CO₂ 排出量差を比較すると事務所建築 3（日本）、事務所建築 4（日本）は RC 構造であるために 0 である。一方、RC 構造にもかかわらず事務所建築 1（カナダ）、事務所建築 2（カナダ）は約 13~18 (kg/m²) の鉄骨使用量、平均約 5 (MJ/m²) のエネルギー消費量、そして平均約 0.025 (t-CO₂/m²) の CO₂ 排出量がある。カナダの事務所建築の特徴として、鉄骨を主に室内壁・窓・カーテンウォール等の補強材として使用するためである。

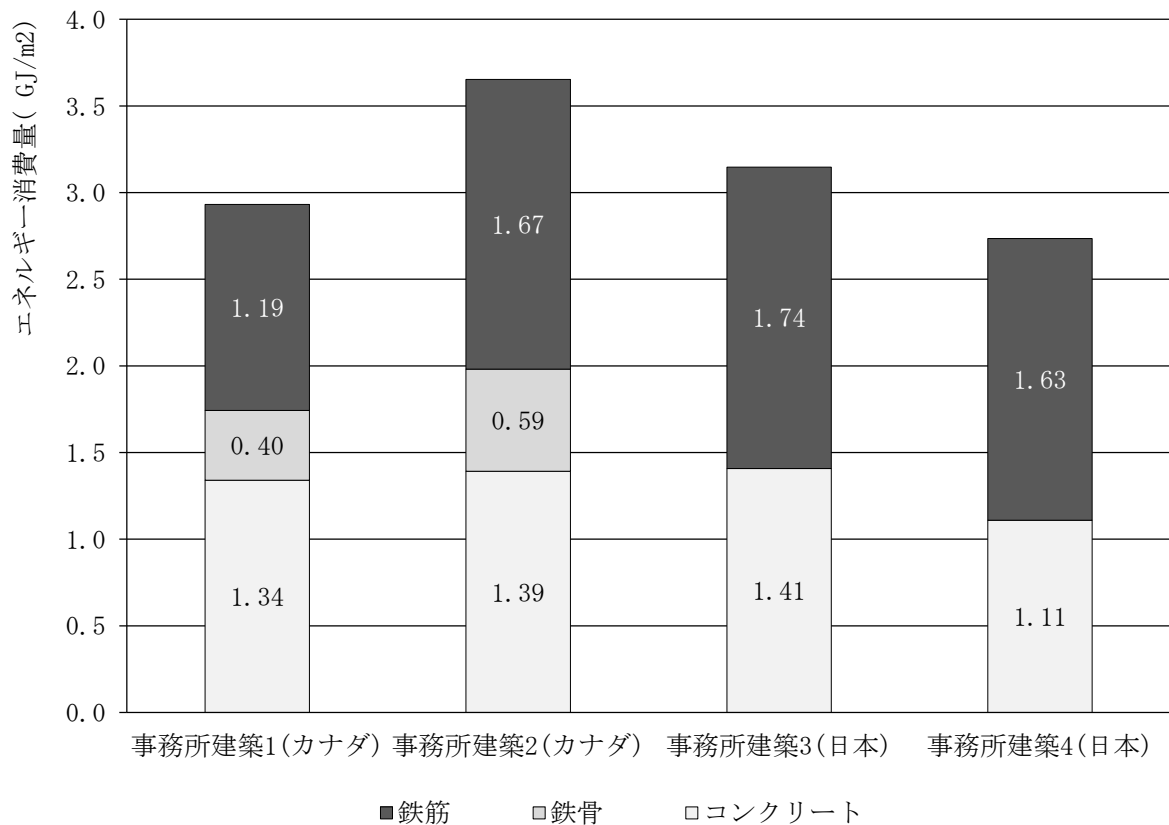


図 5.6-1 主要部材別によるエネルギー消費量

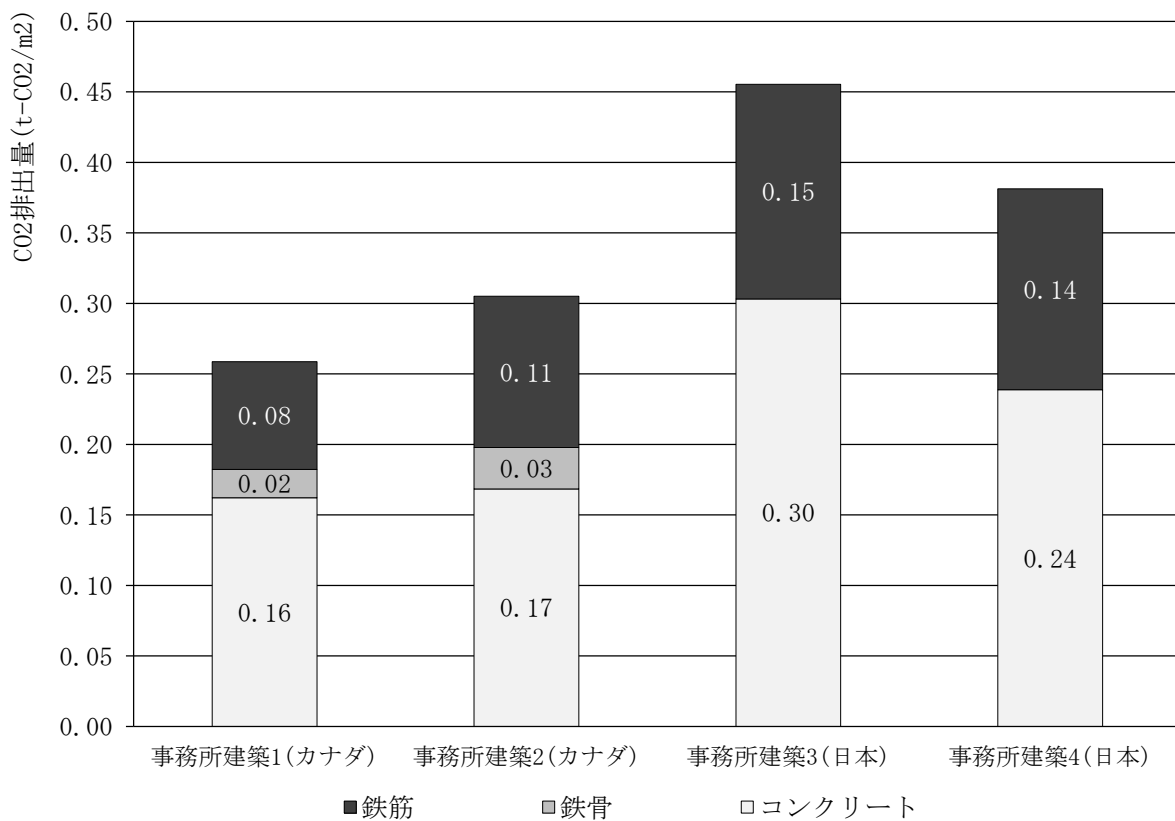


図 5.6-2 主要部材別による CO₂ 排出量

5.6.2 分析方法1－工事分類別によるエネルギー消費量およびCO₂排出量

事務所建築 1（カナダ）、2（カナダ）、3（日本）、4（日本）における建物の投入金額当たりの建設に伴う工事分類別エネルギー消費量を図 5.6-3 に、CO₂ 排出量を図 5.6-4 に示す。

工事分類別にみると、仮設工事によるエネルギー消費量は事務所建築 1（カナダ）、2（カナダ）、3（日本）、4（日本）ともほぼ等しいが、事務所建築 3（日本）、事務所建築 4（日本）の躯体工事エネルギー消費量の平均が事務所建築 1（カナダ）、事務所建築 2（カナダ）の平均より 15%程度大きい。一方、設備工事エネルギー消費量において、事務所建築 1（カナダ）、事務所建築 2（カナダ）の平均が事務所建築 3（日本）、事務所建築 4（日本）の平均よりも 38%程度大きい。建設に伴う総エネルギー消費量は事務所建築 1（カナダ）、3（日本）、4（日本）の差は小さい。事務所建築 2（カナダ）の建設に伴う総エネルギー消費量は、他の事務所建築の平均に比べて約 62%大きい。これは、事務所建築 2（カナダ）の仕上げ工事に断熱性能の高いメタルパネル、水平日射遮蔽物及び、二重カーテンウォールを多く使用したことによって、エネルギー消費量が他の事務所建築の仕上げ工事エネルギー消費量の平均と比較して約 2.7 倍となった考えられる。

建設に伴う総 CO₂ 排出量は、事務所建築 3（日本）、事務所建築 4（日本）の平均が事務所建築 1（カナダ）より 26%程度大きい。これは、事務所建築 3（日本）、事務所建築 4（日本）における躯体工事の CO₂ 排出量の平均が事務所建築 1（カナダ）よりも 42%程度大きいためである。しかし、事務所建築 2（カナダ）の建設に伴う総 CO₂ 排出量は事務所建築 3（日本）、事務所建築 4（日本）とほぼ等しくなった。これは、事務所建築 2（カナダ）の仕上げ工事の CO₂ 排出量が事務所建築 3（日本）、事務所建築 4（日本）の平均より 73%大きいことが原因である。

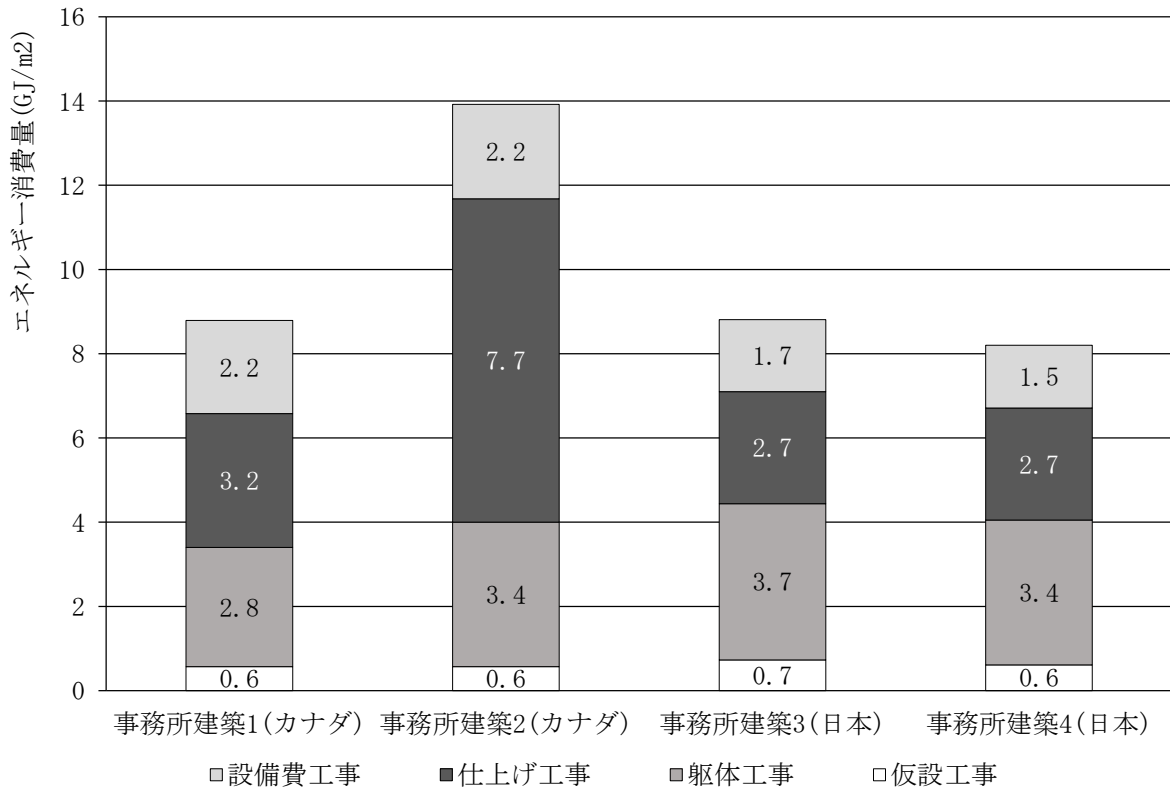


図 5.6-3 工事分類別によるエネルギー消費量

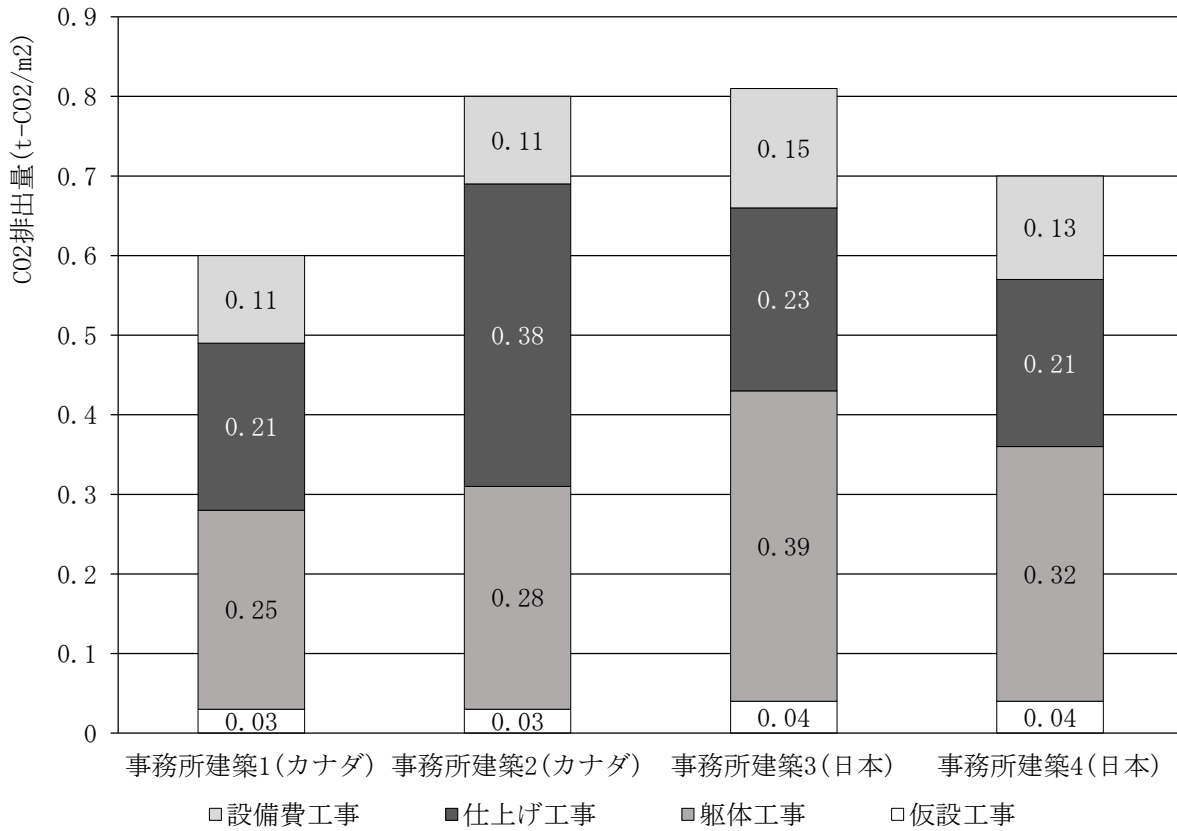


図 5.6-4 工事分類別による CO₂ 排出量

5.6.3 分析方法2－工事分類別によるエネルギー消費量およびCO₂排出量

分析方法2では、事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）、には日本の原単位を、事務所建築3（日本）、4（日本）にはカナダの原単位を用いて建物の投入金額当たりの建設に伴う工事分類別エネルギー消費量を図5.6-5,6に、CO₂排出量を図5.6-7,8に示す。

事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）の建設に伴う合計エネルギー消費量は、カナダの原単位を使用した時よりもそれぞれ25%、31%減少した。一方、事務所建築3（日本）、4（日本）の建設に伴う合計エネルギー消費量は、日本の原単位を使用した時よりもそれぞれ41%、47%増加した。このことより、事務所建築の建設に伴うエネルギー効率は、日本が約3割高いということが分析できる。特に考察する工事分類は、仕上げ工事によるエネルギー消費量である。事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）の仕上げ工事によるエネルギー消費量は、日本の原単位を使用するとそれぞれ39%、56%減少した。躯体工事におけるエネルギー消費量を比較してみると、事務所建築3（日本）で約53%躯体工事におけるエネルギー消費量が増加した。

事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）の建設に伴う総CO₂排出量は、カナダの原単位を使用した時よりもそれぞれ1%以下の変化しか分析できなかった。一方、事務所建築3（日本）、4（日本）の建設に伴う総CO₂排出量は、日本の原単位を使用した時よりもそれぞれ10%程度の増加となった。建設に伴う総CO₂排出量の変化は、エネルギー消費量と比べると非常に低い結果となった。工事分類別に考察してみると、事務所建築1（カナダ）、2（カナダ）における設備工事のCO₂排出量がそれぞれ72%、127%増加していることが分析できる。

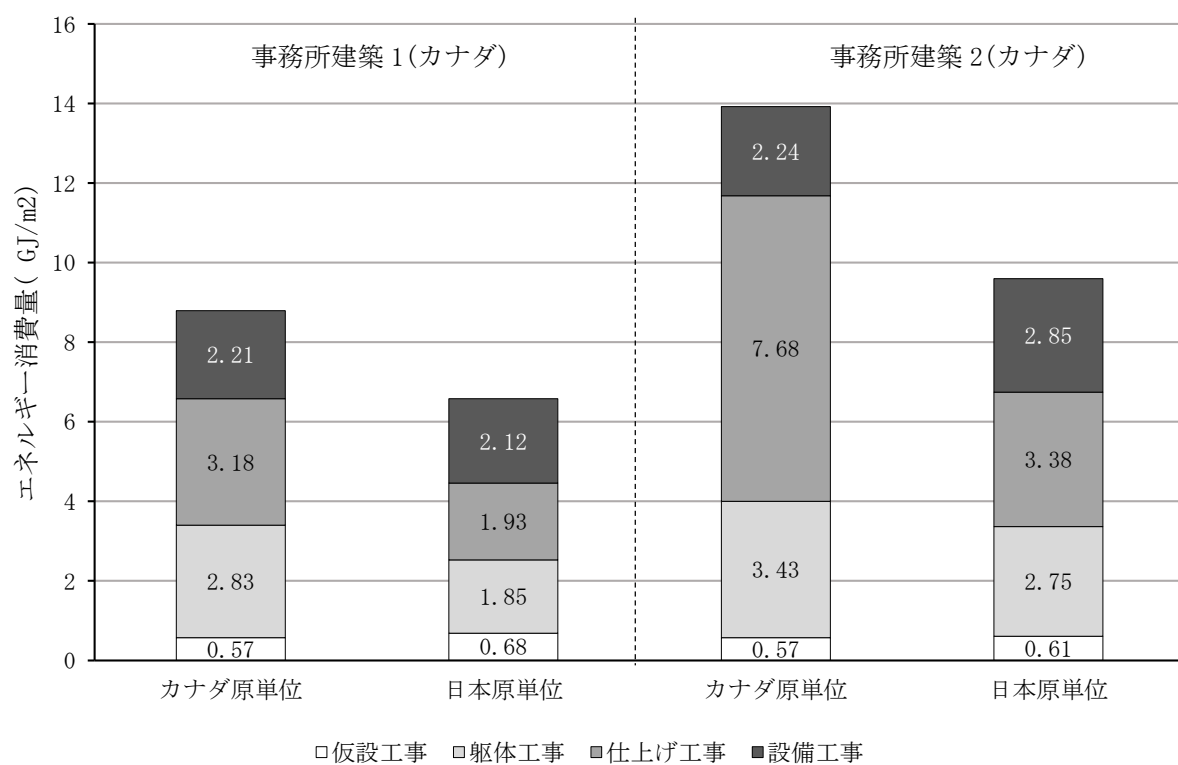


図 5.6-5 工事分類別によるエネルギー消費量

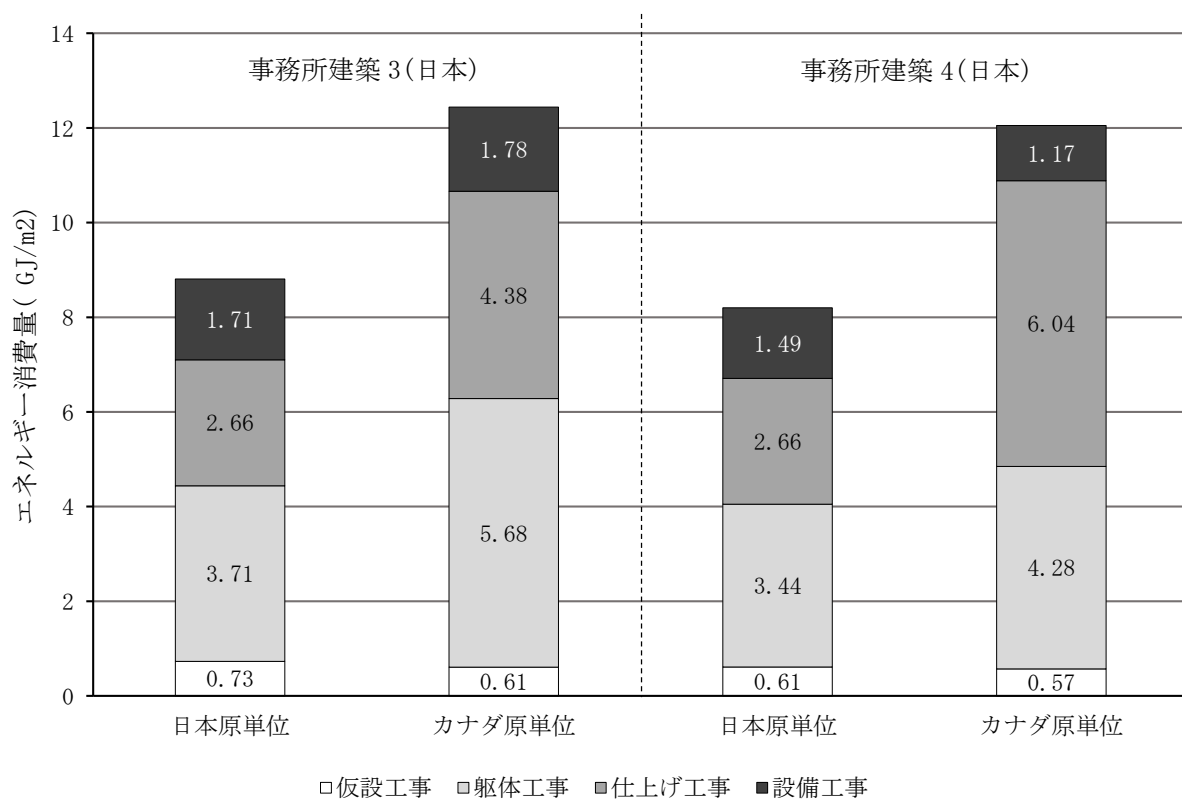


図 5.6-6 工事分類別によるエネルギー消費量

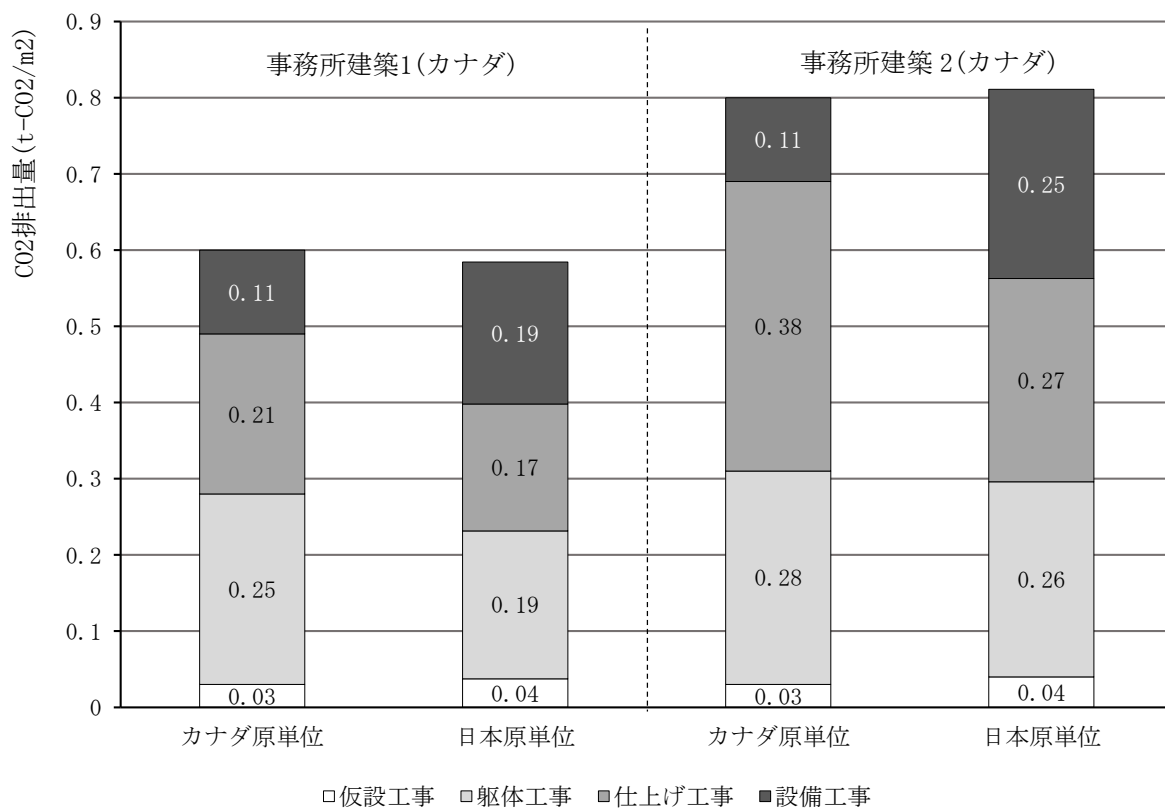


図 5.6-7 工事分類別による CO₂ 排出量

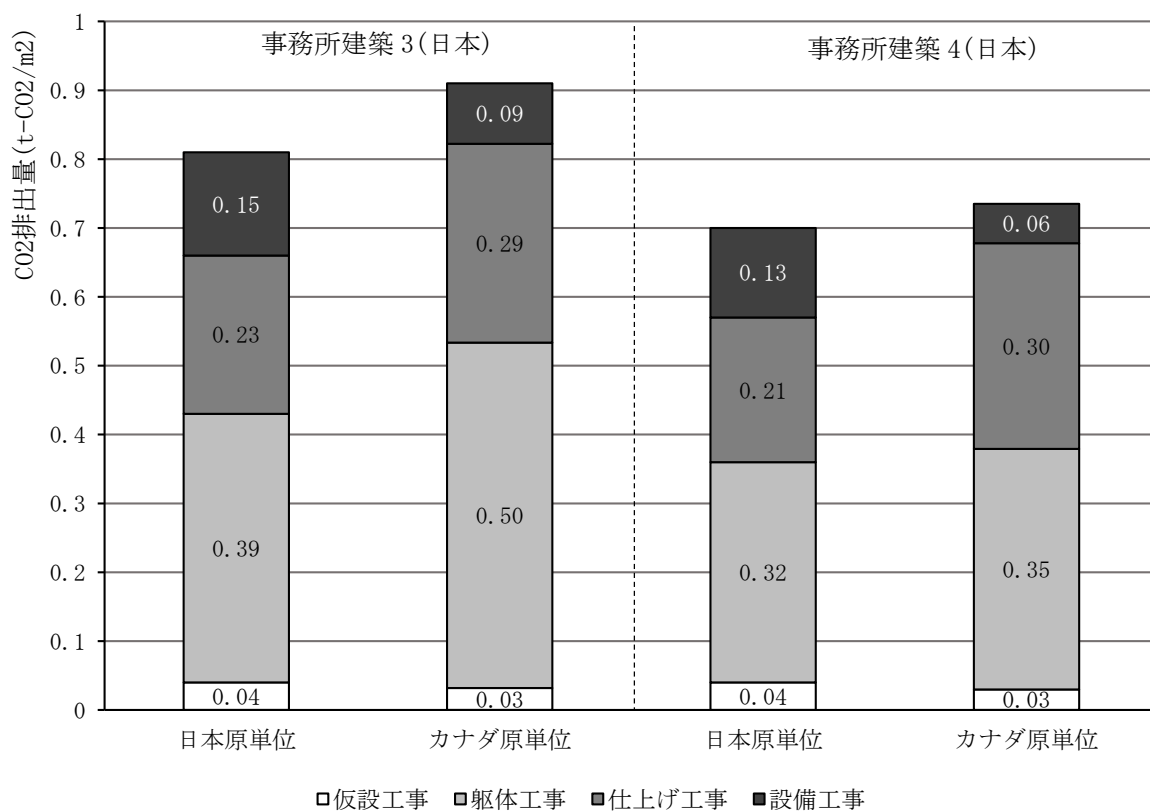


図 5.6-8 工事分類別による CO₂ 排出量

5.7 まとめ

カナダ・日本の同規模の鉄骨造の分析対象とするカナダのモデル事務所建築1（カナダ），2（カナダ），日本のモデル事務所建築3（日本），4（日本）による建築部材の金額・部材料，そして主要部材別・工事分類別のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の分析を行った。それらのデータの相互比較を行うことによって，カナダ・日本における建築物の建設に伴う主要部材別・工事分類別の特徴を明確にし，今後の主要部材・工事分類におけるエネルギー消費量及びCO₂排出量の改善点を検討するデータを整備した。以下に結果を要約する。

- 1) 日本の事務所建築は耐震構造等の理由により，事務所建築3（日本），4（日本）の平均コンクリート使用量は事務所建築1（カナダ），2（カナダ）の平均コンクリート使用量の約1.9倍，そしてコンクリートに対する平均鉄筋使用量も事務所建築1（カナダ），2（カナダ）に比べて約1.2倍大きくなっている。
- 2) 設備工事費は事務所建築1（カナダ）が事務所建築3（日本），4（日本）の平均より約1.2倍大きい。一般的なカナダの事務所建築は中央式VAV方式を使用する傾向があるため，設備工事費が日本の事務所建築より高くなった。
- 3) 事務所建築3（日本），4（日本）におけるコンクリート使用料が事務所建築1（カナダ），2（カナダ）よりも多い。理由として，事務所建築3（日本），4（日本）はべた基礎形式であることと，事務所建築1（カナダ），2（カナダ）ではスラブ以外にコンクリートを使用していないことがあげられる。特に外壁，窓等の構造としてコンクリートをせずスチール製の柱（HSS）を用いることがカナダの建設手法と考察できる。
- 4) カナダの鉄筋コンクリート造の特徴として，HSS（Hollow Structural Section）というスチール製の柱が使用することにより，事務所建築3（日本），4（日本）のコンクリート・鉄骨使用量が，事務所建築1（カナダ），2（カナダ）より約2倍以上高いことが考えられる。
- 5) 事務所建築3（日本），4（日本）の平均鉄筋使用料は，事務所建築1（カナダ），2（カナダ）における平均鉄筋使用料の2.4倍である。これは，日本とカナダにおける耐震設計による相違とみられる。バンクーバーにおける建築基準法の特徴として，“耐震構造”よりも“耐火構造”があげられる。
- 6) 事務所建築3（日本），事務所建築4（日本）の躯体工事エネルギー消費量の平

均が事務所建築1（カナダ），事務所建築2（カナダ）の平均より15%程度大きい。
一方，設備工事エネルギー消費量において，事務所建築1（カナダ），事務所建築2（カナダ）の平均が事務所建築3（日本），事務所建築4（日本）の平均よりも38%程度大きい。

- 7) 分析方法1による建設に伴う総CO₂排出量は，事務所建築3（日本），事務所建築4（日本）の平均が事務所建築1（カナダ）より26%程度大きい。これは，事務所建築3（日本），事務所建築4（日本）における躯体工事のCO₂排出量の平均が事務所建築1（カナダ）よりも42%程度大きいためである。建設に伴う総CO₂排出量は，事務所建築3（日本），事務所建築4（日本）の平均が事務所建築1（カナダ）より26%程度大きい。これは，事務所建築3（日本），事務所建築4（日本）における躯体工事のCO₂排出量の平均が事務所建築1（カナダ）よりも42%程度大きいためである。
- 8) 分析方法1による事務所建築1（カナダ），2（カナダ）の建設に伴う合計エネルギー消費量は，カナダの原単位を使用した時よりもそれぞれ25%，31%減少した。一方，事務所建築3（日本），4（日本）の建設に伴う合計エネルギー消費量は，日本の原単位を使用した時よりもそれぞれ41%，47%増加した。事務所建築1（カナダ），2（カナダ）の建設に伴う総CO₂排出量は，カナダの原単位を使用した時よりもそれぞれ1%以下の変化しか分析できなかった。一方，事務所建築3（日本），4（日本）の建設に伴う総CO₂排出量は，日本の原単位を使用した時よりもそれぞれ10%程度の増加となった。
- 9) 分析方法2による事務所建築1（カナダ），2（カナダ）の建設に伴う合計エネルギー消費量は，カナダの原単位を使用した時よりもそれぞれ25%，31%減少した。一方事務所建築3（日本），4（日本）の建設に伴う合計エネルギー消費量は，日本の原単位を使用した時よりもそれぞれ41%，47%増加した。
- 10) 分析方法2による事務所建築1（カナダ），2（カナダ）の建設に伴う総CO₂排出量は，カナダの原単位を使用した時よりもそれぞれ1%以下の変化しか分析できなかった。一方，事務所建築3（日本），4（日本）の建設に伴う総CO₂排出量は，日本の原単位を使用した時よりもそれぞれ10%程度の増加となった。

第5章 参考文献

- 1) 海藤俊介：日米における建築物に伴うエネルギー消費量及びCO₂排出量に関する研究，宇都宮大学博士（工学）学位論文，2013
- 2) 芦村 昌士，沼田 博美，横山 計三 他：2005年産業連関表によるCO₂排出量原単位の作成と流通マージンの分析に関する研究，日本建築学会環境系論文集，No. 75，pp. 633～636，2010. 8
- 3) 山口賢次郎，池田敏雄，横尾昇剛，岡建雄：既設ビルの改修・立替に伴う環境負荷排出に関する研究，日本建築学会環境系論文集，No. 566，pp. 1～7，2003. 4
- 4) 横山計三，横尾昇剛，岡建雄：建築物の資源消費量の簡易計算法の提案，日本建築学会技術報告集，第18号，pp. 207～211，2003. 12
- 5) 横山計三，横尾昇剛，岡建雄：資源消費原単位を適用した低資源消費型建物の評価，産業連関表による建築物の物量評価，日本建築学会環境系論文集，No. 579，p9-15，2004. 5
- 6) 鈴木道哉，岡建雄，岡田圭史，矢野謙禎：産業連関表による建築物の評価：その4 事務所ビルの建設・運用に関わるエネルギー消費量，二酸化炭素排出量，日本建築学会計画系論文集，No. 476，pp. 37-43，1995. 10
- 7) 鈴木道哉：産業連関表による建築物のエネルギー消費量と二酸化炭素排出量に関する研究－RC事務所建築、住宅建築のライフサイクル分析－，宇都宮大学博士（工学）学位論文，1996

第6章 建築物の外皮性能向上に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量の分析

6.1 概要

本章では、外皮性能技術の一つである水平日射遮蔽物に着目し、カナダ・日本における両国の省エネルギー法評価基準にそった水平日射遮蔽物を両国のモデル事務所建築を使って設計し、外皮性能技術の一つの事例としてASHRAE90.1, 2010 “SHGC”と省エネルギー基準“PAL*”による外皮性能の評価比較を示す。また、第4章で分析した建築部材料におけるエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を用いて水平日射遮蔽物設置に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量評価を行う。同時に、外皮性能向上に伴う運用エネルギー（照明・冷房・暖房）の評価を行い、カナダ・日本における水平日射遮蔽物設置時の特徴を明確にし、今後の環境配慮型建築技術の導入効果を判断する場合の活用事例を提示した。

6.2 建築物の外皮性能技術における評価・分析の重要性

外皮性能技術における評価・分析の重要性をカナダ・日本の建築物総合環境性能評価システム及び、両国の省エネルギー法を基に解説する。

6.2.1 建築物の外皮性能技術と建築物総合環境性能評価システム

表6.2-1、表6.2-2に示すように、CASBEE、LEEDに共通して見られ外皮性能技術に関する項目は大きく分けて“室内環境の向上”“省エネルギー性能の向上”“景観へ配慮”の3つが挙げられる。それぞれの項目における評価の重みは異なるが、外皮性能と省エネルギー性能の向上における評価がCASBEE・LEEDの全体の評価を大きく押し上げる要因になっている。

省エネルギー性能向上に項目に関する“LR1 エネルギー（CASBEE）”と“EA Prerequisite: Minimum Energy Performance, EA CREDIT: OPTIMIZE ENERGY PERFORMANCE（LEED）”を満たす外皮性能技術のデザインガイドラインは、両国の省エネルギー法に基づいて評価される。近年、ガラス建築の普及により開放感のある室内環境を実現している一方、冷暖房の運用エネルギーの増加に伴いガラス建築における省エネルギー性能は、通常のRCなどの外壁に断熱を行った方式よりも低くなる傾向がある。CASBEEにおける外皮性能の評価基準は、省エネルギー法に基づいた

PAL*を用い、LEED における外皮性能の評価基準は ASHRAE90.1, 2010 による外壁の R-Value(熱抵抗値)及び、窓の SHGC(日射熱取得率)の最低基準値によって評価されている。

6.2.2 建築物の外皮性能と省エネルギー基準（デザインガイドライン）

表6.2-1 CASBEE 2014と外皮性能の関係

1. Q. 建築物の環境品質			2. LR建築物の環境負荷低減性	
Q1. 室内環境	2. 温熱環境	2. 1. 3. 外皮性能	LR1 エネルギー	1. 建物外皮の熱負荷抑制
	3. 光・視環境	3. 1. 1. 昼光率		
		3. 1. 2. 方位別開口		
		3. 1. 3. 昼光利用設備		
		3. 2. 2. 昼光制御		
Q3. 室外環境 (敷地内)	2. 町並み・景観への配慮			

出典：(文献 12)

表6.2-2 LEED v4と外皮性能の関係

ENERGY AND ATMOSPHERE (EA)	INDOOR ENVIRONMENTAL QUALITY (EQ)
EA Prerequisite: Minimum Energy Performance	EQ CREDIT: THERMAL COMFORT
EA Credit: Optimize Energy Performance	EQ CREDIT: DAYLIGHT
	EQ CREDIT: QUALITY VIEWS

出典：(文献 11)

(1) 省エネルギー基準・低炭素建築物認定制度

2013年1月に公布された住宅・建築物の省エネルギー基準及び、2012年12月に公布された低炭素建築物の認定基準によると、住宅・建築物（事務所建築）ともに“外皮性能”と“一次エネルギー消費量”を指標として建物全体の省エネルギー性能を評価する。建築物（事務所建築）における外皮性能は、旧基準における年間熱負荷係数（PAL）から新年間熱負荷係数（PAL*）に指標が変更になり、建築物（事務所建築）における一次エネルギー消費量については、これまでの設備システムエネルギー消費係数（CEC）が廃止され、建物全体の一次エネルギー消費量による評価になるとともにその算定方法も変更された。本論文の事務所建築外皮性能技術の分析方法として、省エネルギー基準のPAL*を用いて日本のモデル事務所建築における外皮性能技術の評価を行う。

現行の省エネ基準		
建築物	外皮	PAL
	暖冷房	CEC/AC
	換気	CEC/V
	給湯	CEC/HW
	照明	CEC/L
	昇降機	CEC/EV

住宅	外皮	熱損失係数等
	暖冷房	なし
	換気	なし
	給湯	なし
	照明	なし

新しい省エネ基準		
外皮	PAL*（建築物）	
	外皮平均熱貫流率（住宅）	
外皮	一次エネルギー消費量 （室用途と床面積に応じた 計算）	
暖冷房		
換気		
給湯		
照明		

図6.2-1 新しい省エネルギー基準

出典：国土交通省（文献13）

(2) ASHRAE 90.1, 2010・NECB

ASHRAE とは the American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers（米国暖房冷凍空調学会）の略称である。ASHRAE 90.1, 2010(ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2010 - Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings) は、アメリカだけでなく世界各国の商業建築物（低層住宅を除く）におけるエネルギー基準として約35年以上使用されている最新版のASHRAE90.1である。ASHRAE 90.1は、商業建築物におけるエネルギー効率を向上するため、外皮性能、HVAC、サービス水暖房、電力、照明、設備の6つ部門においてそれぞれの設計・建設に関する基準を定めている。カナダのブリティッシュコロンビアにおいて、ASHRAE 90.1, 2007がエネルギー基準として2009年度建築基準法と併用して使用されており、カナダにおけるエネルギー基準として幅広く州・地域で使用されている。バンクーバー市では、ブリティッシュコロンビア州の他の自治体に先駆けて、2014年1月21日よりエネルギー基準としてASHARE 90.1, 2014, もしくは新しくNECB(National Energy Code of Canada for Buildings)の使用を義務づけている。このような歴史的背景より、ASHARE 90.1, 2010はバンクーバーのエネルギー基準として幅広く使用されている。

NECBは、National Energy Code of Canada for Buildingsの名称である。NECBは、1997年に導入された最初の住宅・建築物におけるカナダ独自の省エネルギー基準である。現在、NECB 2011年度版は2014年1月よりカナダのブリティッシュコロンビア、マニトバ、オンタリオ、ノバスコシアの4州でASHRAE 90.1, 2010と共に採用されている。NECBは、ASHRAE 90.1同様に外皮性能、システムおよび機器の暖房、換気と空調、サービス水暖房、照明、電力システムおよびモーター、建築エネルギー性能コンプライアンスの6つの部門に分かれており、カナダ国立建築基準法と併用して環境配慮型建物の設計・建設における最小限のエネルギー基準として使用されている。しかしながら、建築コンサルタントの多くはNECBより古くから使用されているASHRAE 90.1, 2010の使用を好んでいるのが現状である。

カナダのブリティッシュコロンビアでは、ASHRAE90.1, 2004をエネルギー基準として使用してきた影響より、バンクーバーにおける多くの事務所建築の設計・建築のエネルギー基準としてASHRAE90.1, 2010を使用している。よって、本論文においてASHRAE90.1, 2010を使用して、カナダのモデル事務所建築における外皮性能技術の評価を行う。

6.2.3 建築物の外皮性能技術における水平日射遮蔽物の重要性

前節6.2.1, 2で外皮性能技術と建築物総合環境性能評価システムおよび省エネルギー法との密接な関係を述べた。本節では、カナダにおける自治体と水平日射遮蔽物設置における関係を述べたい。カナダの建築設計において水平日射遮蔽物は非常に重要なデザイン要素である。特にバンクーバー市では、“Passive design Toolkit”なるものが存在し、水平日射遮蔽物の設置をほぼ義務付けている。簡潔に言い換えると、自治体から建築申請の許可が下りないのである。このような背景から本研究では、エネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を使用して水平日射遮蔽物設置に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量評価および運用エネルギー消費量を分析・検討することにより、外皮性能向上技術だけでなく環境配慮型建築物そのものを設計・建設する上で、的確な建築技術を見極めるひとつの評価・分析方法となると考える。

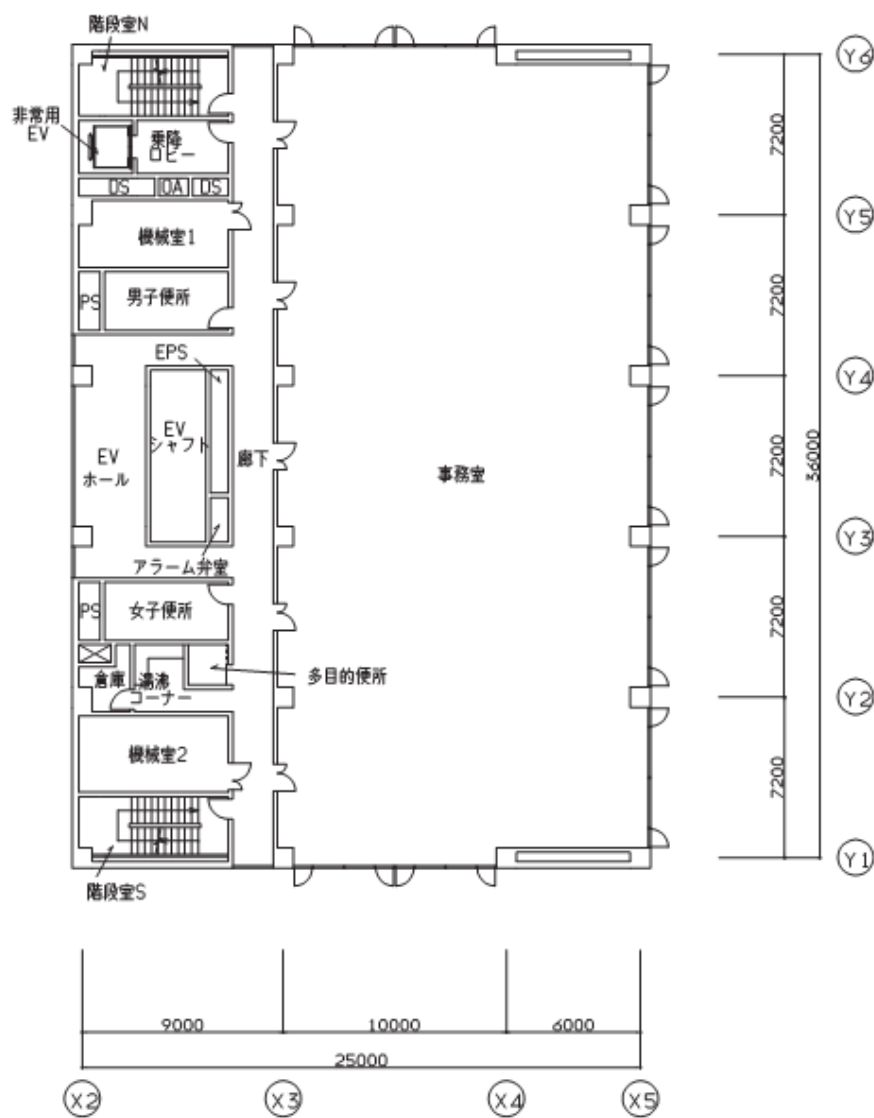
6.3 建築物の外皮性能技術の評価・分析

6.3.1 モデル事務所建築概要

分析対象とするカナダ・日本のモデル事務所建築を表6.3-1に示す。モデル事務所建築は、カナダ・日本それぞれ実際に建設された物件を選定し本研究で使用する。事務所建築名称は“事務所建築A（カナダ）”，“事務所建築B（日本）”とする。“事務所建築（カナダ）”は本論文第4章で紹介した“事務所建築2（カナダ）”と同様の環境配慮型事務所建築である（図5.2-2）。一方，“事務所建築（日本）”は平成25年省エネルギー基準（平成25年9月公布）等，関係技術資料－非住宅建築物の外皮性能評価プログラム解説－にて紹介された一般的な事務所建築を使用した（図6.3-1，図6.3-2）。

表6.3-1 モデル事務所建築概要

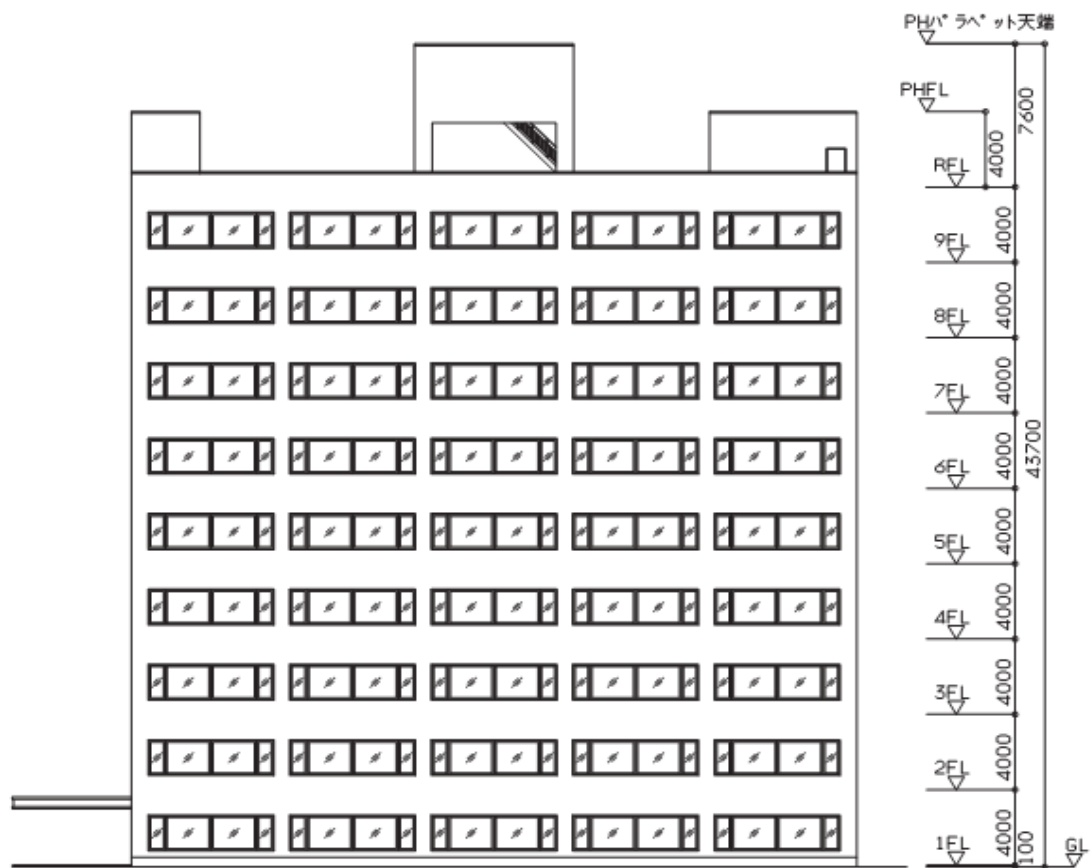
		事務所建築A（カナダ）	事務所建築B（日本）
建築概要	所在地	バンクーバー	東京
	延べ床面積	6,308m ²	10,000m ²
	階数	地上7階地下1階	地上9階地下1階
構造	構造	RC構造	SRC構造
	階高	4.2m	4.0m
	基礎形式	独立基礎	べた基礎
外壁仕上げ	外壁	メタルパネル （北、南、西、東） カーテンウォール （1階北、東）	コンクリート （北、南、西、東）
	外壁断熱	ポリスチレンフォーム断熱材 押出法ポリスチレンフォーム 保温版3種(50mm)	ポリスチレンフォーム断熱材 押出法ポリスチレンフォーム 保温版2種
		吹付け硬質ウレタンフォームA種1号(75mm)	
	窓	(G1): 高性能熱線反射 （可視光透過率70%）+透明 （北、南、西、東） (G2): ラミネート高性能熱線反射 （可視光透過率70%）+透明 （北、南、西、東）	透明+透明（6mm+6mm+6mm） （北、南、西、東）
	屋根	アシュファルト防水	アシュファルト防水
内装仕上げ	内壁	仕上：ペイント 下地：石膏ボード	仕上：ペイント 下地：石膏ボード
	床	事務所、廊下：セラミック、 タイル、カーペット	事務所、廊下：タイルカーペット、 セラミックタイル
	天井	ペイント仕上げ	ロックウール化粧吸音板



図面一意-4* 意匠図 3～8階平面図

図6.3-1 事務所建築B（日本）基準階平面図

出典：国土交通省（文献4）



特記なき窓はすべてブラインド（手動）有

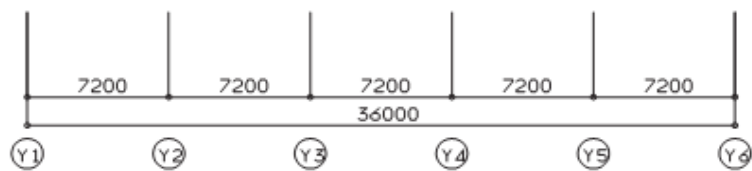


図6.3-2 事務所建築B（日本）東側立面図

出典：国土交通省（文献4）

6.3.2 ASHRAE90.1, 2010による建築物外皮性能技術の分析方法

表6.3-2に事務所建築A（カナダ）及び、事務所建築B（日本）のASHRAE90.1, 2010における外皮性能設計基準を示す。表6.3-2に基づき両国のモデル事務所建築における外皮性能を評価・分析する。ASHRAE90.1, 2010による外皮性能評価では、水平日射遮蔽物によるU-Valueへの影響はPAL*と違い計算されていない。よって本論文では、水平日射遮蔽物によって基準値が作用されるSHGCによる評価のみとする。

ステップ1

表6.3-2 ASHRAE90.1, 2010におけるカナダ・日本の外皮性能基準

		Vancouver		Tokyo	
気候区域		5		3	
		組み立て最大	最小R-Value	組み立て最大	最小R-Value
壁	マス	U-0.090	R-11.4c. i.	U-0.123	R-7.6c. i.
	メタル	U-0.069	R-13.0+R-5.6c. i.	U-0.084	R-19.0
	スチール	U-0.064	R-13.0+R-7.5c. i.	U-0.084	R-13.0+R-3.8c. i.
	木造	U-0.064	R-13.0+R-3.8c. i.	U-0.089	R-13.0
		最大	最大SHGC	最大	最大SHGC
窓 (0% -40%外 壁面)	フレーム (金属以外)	U-0.35	SHGC-0.4	U-0.65	SHGC-0.25
	金属フレーム(カー テンウォール/ ストアフロント)	U-0.45		U-0.60	
	金属フレーム(ドア)	U-0.80		U-0.90	
	金属フレーム(上記記載以外)	U-0.55		U-0.65	

出典：(文献1)

事務所建築A（カナダ）の気候区分をASHRAE Standard 90.1, 2010 “TABLE B-2 Canadian Climate Zones”を参照し、所在地である“British Columbia (B.C.) Vancouver International A”より気候区分5を選択する。また、事務所建築B（日本）の気候区分を“TABLE B-3 International Climate Zones”を参照し、事務所建築B（日本）の所在地である“Japan, Tokyo”より気候区分3を選択する。

ステップ2

“TABLE 5.5 Building Envelop Requirements for Climate Zone 3, 及び 5(A, B, C)” の最低基準値を採用するにあたり, 開口部 (窓) 面積が全モデル事務所 建築壁面積の40%以下であることを確認する (表6.3-3)。

表6.3-3 事務所建築A (カナダ) ・事務所建築B (日本) の総窓面積及び窓比率

			事務所建築A (カナダ)	事務所建築B (日本)
北側	外壁総面 積		677m ²	1,106m ²
		窓面積 (G1)	317m ²	
		窓面積 (G2)	32m ²	
	窓総面積		349m ²	200m ²
南側	外壁総面 積		677m ²	1,212m ²
		窓面積 (G1)	240m ²	
		窓面積 (G2)	0m ²	
	窓総面積		240m ²	163.8m ²
西側	外壁総面 積		1325m ²	1,454m ²
		窓面積 (G1)	270m ²	
		窓面積 (G2)	0m ²	
	窓総面積		270m ²	196m ²
東側	外壁総面 積		1325m ²	1,325m ²
		窓面積 (G1)	423m ²	
		窓面積 (G2)	50m ²	
	窓総面積		473m ²	502.2 m ²
全外壁	外壁総面 積		4,004m ²	5,097m ²
		窓面積 (G1)	1,250m ²	
		窓面積 (G2)	82m ²	
	窓総面積		1,332m²	1,062m²
窓比率			33.0% ≤ 40%	20.8% ≤ 40%

ステップ3

“TABLE 5.5 Building Envelop Requirements for Climate Zone 3, 及び 5(A, B, C)” を参照し, 気候区分 “3” “5” における外壁のR-Value (熱抵抗値) 及び, 窓のSHGC (日射熱取得率) の最低基準値をそれぞれ求める (表6.3-4)。

表6.3-4 事務所建築A (カナダ) ・事務所建築B (日本) のSHGCおよびU-Value

	事務所建築A (カナダ)	事務所建築B (日本)
SHGC	窓 (G1) 0.37	0.72
	窓 (G2) 0.34	
SHGC (all)	0.368 ≤ 0.4	0.72 ≥ 0.25
壁 (U-Value)	0.068 ≤ 0.069	0.18 ≥ 0.123

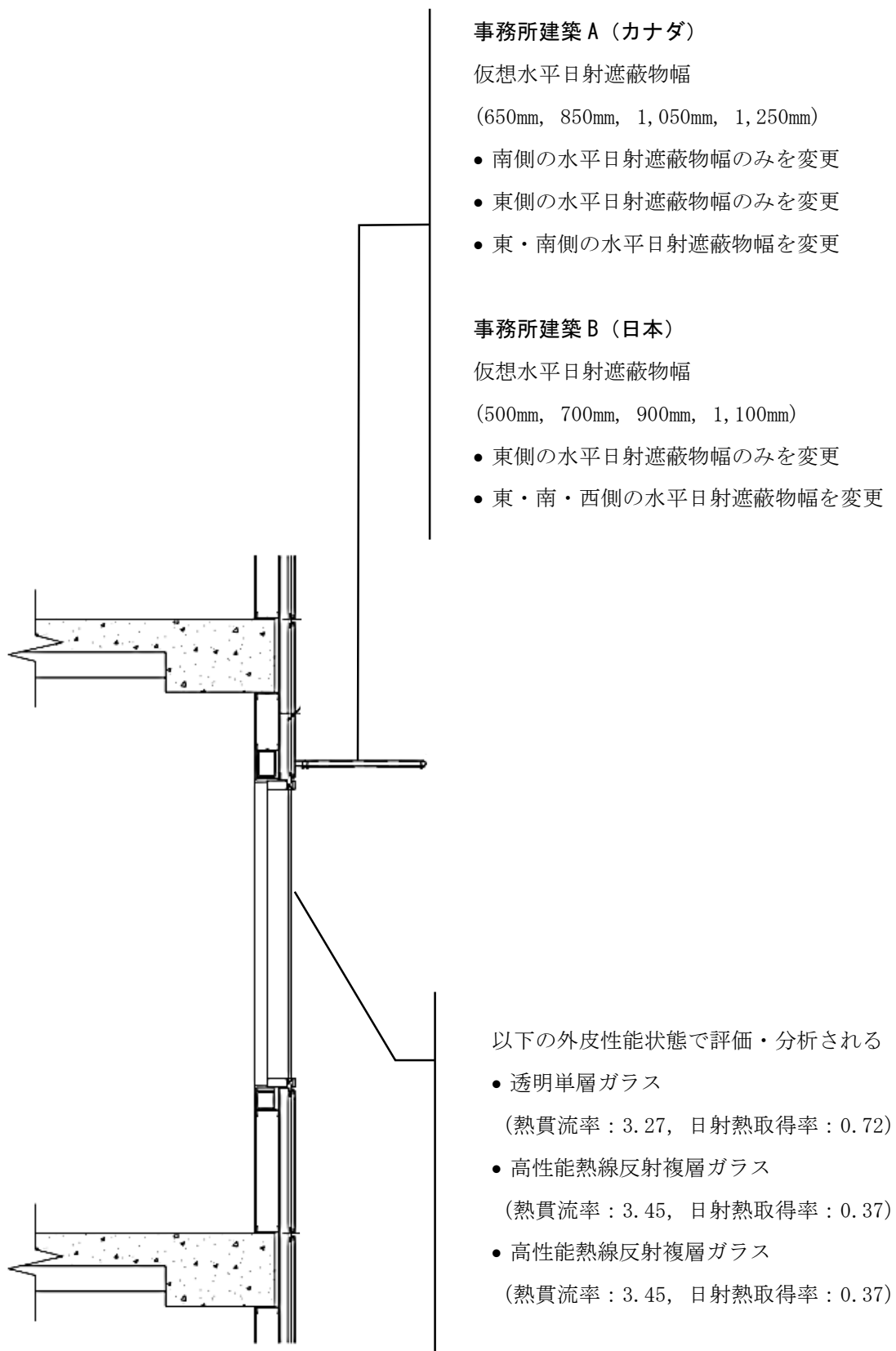


図6.3-3 水平日射遮蔽物の分析・評価条件

ステップ4

事務所建築A（カナダ）及び、事務所建築B（日本）は以下の外皮性能状態で評価・分析される（図6.3-3）。

I. -既存の開口面積

-透明単層ガラス（熱貫流率：3.27，日射熱取得率：0.72）

*事務所建築B（日本）で使用されているガラス

II. -既存の開口面積

-高性能熱線反射複層ガラス（熱貫流率：3.45，日射熱取得率：0.37）

*事務所建築A（カナダ）で使用されているガラス

III. -カーテンオール（床上から天井下）

-高性能熱線反射複層ガラス（熱貫流率：3.45，日射熱取得率：0.37）

ステップ5

事務所建築A（カナダ）は“ケース1”，“ケース2”，“ケース3”，“ケース4”における仮想水平日射遮蔽物をステップ4の外皮条件にそれぞれ設置して分析を行う（図6.3-3）。事務所建築A（カナダ）は環境配慮方事務所建築のため，南・東の両側に異なった幅の水平日射遮蔽物が使用されている。そのため，事務所建築A（カナダ）における“ケース3”，“ケース4”はそれぞれ以下の“a”，“b”，“c”の方位によって異なる3種類の幅の組み合わせによって分析されている。純粋な水平日射遮蔽物の影響を分析するため，事務所建築の窓の高さは既存の状態を維持した。

事務所建築A（カナダ）

- ケース1 - 水平日射遮蔽物無し
- ケース2 - 現状

（南側：水平日射遮蔽物 850mm，東側：水平日射遮蔽物 450mm）

a：南側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

- ケース3 - 水平日射遮蔽物有り

（南側：水平日射遮蔽物 1,050mm，東側：水平日射遮蔽物 450mm）

- ケース4 - 水平日射遮蔽物有り

（南側：水平日射遮蔽物 1,250mm，東側：水平日射遮蔽物 450mm）

b: 東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

- ケース3 - 水平日射遮蔽物有り

(南側：水平日射遮蔽物 850mm, 東側：水平日射遮蔽物 650mm)

- ケース4 - 水平日射遮蔽物有り

(南側：水平日射遮蔽物 850mm, 東側：水平日射遮蔽物 850mm)

c: 東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更

- ケース3 - 水平日射遮蔽物有り

(南側：水平日射遮蔽物 1,050mm, 東側：水平日射遮蔽物 650mm)

- ケース4 - 水平日射遮蔽物有り

(南側：水平日射遮蔽物 1,250mm, 東側：水平日射遮蔽物 850mm)

事務所建築B（日本）は同様に，“ケース1”，“ケース2”，“ケース3”，“ケース4”，“ケース5”における仮想水平日射遮蔽物をステップ4の外皮条件にそれぞれ設置して分析を行う（図6.3-3）。一般的な事務所建築のため，既存の事務所建築は水平日射遮蔽物が使用されていない。そのため，事務所建築B（日本）における“ケース2”，“ケース3”，“ケース4”，“ケース5”はそれぞれ以下の“d”，“e”の方位によって異なる2種類の幅の組み合わせによって分析されている。ASHRAE Standard 90.1, 2010にある章5.5.4.5によると，“南側20ft以内に建物・建造物がある場合，もしくは西・東側壁面が75%以上が採光利用できない場合，与えられたSHGCの最低基準値を満たす必要はない”とある。よって，“e: 東側（主要立面）の水平日射遮蔽物幅のみを変更”の分析は事務所建築が密集地帯に建てられている状態を想定したもので，道側に面した外壁にのみ採光利用できる窓がある状況进行分析する。また，事務所建築A（カナダ）で使用されているSHGC数値の低い窓を指定し，同様の分析をした。純粋な水平日射遮蔽物の影響を分析するため，事務所建築の窓の高さは既存の状態を維持した。

事務所建築B（日本）

既存窓（SHGC：0.72）

- ケース1 - 水平日射遮蔽物無し（現状）

d：南・東・西側の水平日射遮蔽物幅を変更

- ケース2 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 500mm）
- ケース3 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 700mm）
- ケース4 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 900mm）
- ケース5 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 1,100mm）

e：東側（主要立面）の水平日射遮蔽物幅のみを変更

- ケース2 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 500mm）
- ケース3 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 700mm）
- ケース4 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 900mm）
- ケース5 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 1,100mm）

窓（SHGC：0.37）事務所建築B（日本）と同様の窓

- ケース1 - 水平日射遮蔽物無し（現状）

d：南・東・西側の水平日射遮蔽物幅を変更

- ケース2 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 500mm）
- ケース3 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 700mm）
- ケース4 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 900mm）
- ケース5 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 1,100mm）

e：東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

- ケース2 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 500mm）
- ケース3 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 700mm）
- ケース4 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 900mm）
- ケース5 - 水平日射遮蔽物有り（南・東・西側：水平日射遮蔽物 1,100mm）

ステップ5

事務所建築 A（カナダ）に事務所建築 B（日本）の気候区分 3 を、事務所建築 B（日本）に事務所建築 A（カナダ）の気候区分 5 を用いて、SHGC 基準数値を評価する。これは、両国の事務所建築の性能が互いの相違する気候区分で設計された時の特徴を把握するものである。

ステップ6

図6.3-5に示すように水平日射遮蔽物（オーバーハング）係数(PF)を求め、“TABLE 5.5.4.4.1 SHGC Multipliers for Permanent Projections”からSHGC(日射熱取得率)係数を求める。与えられたSHGC係数を事務所建築に使用されている窓のSHGCに乗じることにより、水平日射遮蔽物を使用したときの窓のSHGCを算出する。

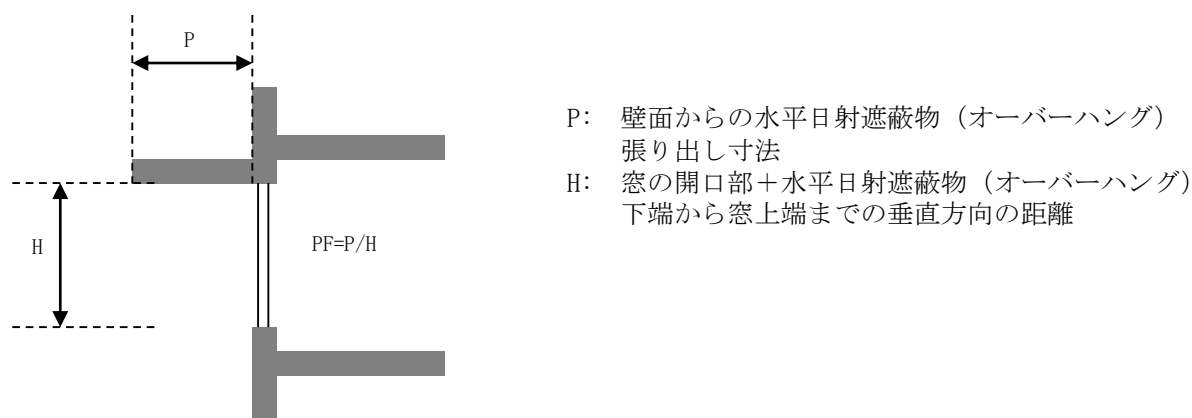


図6.3-5 水平日射遮蔽物（オーバーハング）係数(PF)の算出法

出典：（文献 1）

ステップ7

表6.3-5に示すように、事務所建築A（カナダ）に事務所建築B（日本）の既存の窓をカーテンウォールに変更し、ステップ1～ステップ6の分析を同様に行う。この分析は、カーテンウォールを使用した事務所建築に水平日射遮蔽物を使用した改築もしくは新築におけるSHGC数値の変化を把握するものである。

表6.3-5 事務所建築A（カナダ）・事務所建築B（日本）における
仮想カーテンウォール面積及び窓比率

			事務所建築A（カナダ）	事務所建築B（日本）
北側	外壁総面積		677m ²	1,106m ²
		窓面積(G1)	440m ²	
		窓面積(G2)	32m ²	
	窓総面積		472m ²	610m ²
南側	外壁総面積		677m ²	1,212m ²
		窓面積(G1)	440m ²	
		窓面積(G2)	0m ²	
	窓総面積		440m ²	610m ²
西側	外壁総面積		1325m ²	1,454m ²
		窓面積(G1)	1,160m ²	
		窓面積(G2)	0m ²	
	窓総面積		1,160m ²	196m ²
東側	外壁総面積		1325m ²	1,325m ²
		窓面積(G1)	1,061m ²	
		窓面積(G2)	50m ²	
	窓総面積		1,111m ²	1,120m ²
全外壁	外壁総面積		4,004m ²	5,097m ²
		窓面積(G1)	3,101m ²	
		窓面積(G2)	82m ²	
	窓総面積		3,183m²	2,536m²
窓比率			79.5% > 40%	50.0% > 40%

6.3.3 ASHRAE90.1, 2010による建築物外皮性能の評価結果

(1) 事務所建築A（カナダ）-既存窓分析結果

表6.3-5, 6, 7にあるように，事務所建築A（カナダ）の分析結果を下記に示す。

ケース1 - 水平日射遮蔽物無し (表6.3-5)

“ケース1”は水平日射遮蔽物無しの外皮状態で，Low-E複層ガラス（SHGC数値0.34）は表6.3-2に示す最適基準値の0.4より少ない。このことより，事務所建築A（カナダ）において，水平日射遮蔽物無しでもASHRAE90.1, 2010の基準値を満たしている。

ケース2 - 現状 (表6.3-5)

事務所建築A（カナダ）は，環境性能配慮型の事務所建築で，“ケース2 - 現状”のアルミニウム製の水平日射遮蔽物を南・東側に有する。SHGC数値は，“ケース1 - 水平日射遮蔽物無し”より12.5%小さい。このことより，水平日射遮蔽物が運用エネルギー使用量削減において効果的な外皮性能として機能していることが分かる。また，事務所建築A（カナダ）はLEEDゴールドを取得しており，エネルギー消費量削減のために水平日射遮蔽物を使用している。

a: 南側の水平日射遮蔽物幅のみを変更 (表6.3-5)

“ケース3a”，“ケース4a”において南側の水平日射遮蔽物の幅は既存状態の850mmから1,050mm，1,250mmに変更したときの，全SHGC数値の変化を分析している。全SHGC数値は“ケース3a”において1.2%，“ケース4a”は2.5% “ケース2” 既存状態より小さくなっている。

b: 東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更 (表6.3-6)

“ケース3b”，“ケース4b”において東側の水平日射遮蔽物の幅は既存状態の450mmから650mm，850mmに変更したときの，全SHGC数値の変化を分析している。既存状態における南側の水平日射遮蔽物の幅は，真上からの日光を遮断するために，東側の水平日射遮蔽物の幅より89%ほど大きい。全SHGC数値は“ケース3b”において2.8%，“ケース4b”は5.0% “ケース2” 既存状態より小さくなっている。

東側の水平日射遮蔽物幅の変更による全SHGC数値は、南側の水平日射遮蔽物幅の変更に比べて約2倍の効果がある。

c: 東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更(表6. 3-7)

“ケース3c”，“ケース4c”において南・東側の水平日射遮蔽物の幅を変更したときの、全SHGC数値の変化を分析している。全SHGC数値は“ケース3c”において4.0% “ケース2” 既存状態より小さくなっている。特に，“ケース4c”では全SHGC数値が7.1%と著しく小さくなっている。これらの分析より、南・東側による単独の水平日射遮蔽物幅変更より、両南・東側の水平日射遮蔽物幅変更により大きな効果が期待できる。

表6. 3-5 事務所建築A（カナダ）ASHRAE90. 1, 2010による外皮性能の評価
a：南側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

事務所建築A（カナダ）					
			a：南側の水平日射遮蔽物幅のみを変更		
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3a	ケース4a
窓高さ		2,100mm	2,100mm	2,100mm	2,100mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	1,050mm	1,250mm
	PF	N/A	850mm/2,100mm =0.40	1,050mm/2,100mm =0.50	1,250mm/2,100mm =0.60
	SHGC 係数	N/A	0.67	0.61	0.56
	SHGC 窓 (G1)	0.37	0.25	0.23	0.21
	SHGC 窓 (G2)	0.34	0.23	0.21	0.19
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	450mm	450mm
	PF	N/A	450mm/2,100mm =0.21	450mm/2,100mm =0.21	450mm/2,100mm =0.21
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.82	0.82
	SHGC 窓 (G1)	0.37	0.30	0.30	0.30
	SHGC 窓 (G2)	0.34	0.28	0.28	0.28
北側	SHGC 窓	0.367	0.367	0.367	0.367
西側	SHGC 窓	0.37	0.37	0.37	0.37
全面	SHGC (a11)	0.368	0.322	0.318	0.314
水平日射遮蔽物面積		136.46m ²	136.46m ²	148.43m ²	160.38m ²

表6.3-6 事務所建築A（カナダ）ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
b：東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

事務所建築A（カナダ）					
		b：東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更			
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3b	ケース4b
窓高さ		2,100mm	2,100mm	2,100mm	2,100mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	850mm	850mm
	PF	N/A	850mm/2,100mm =0.40	850mm/2,100mm =0.40	850mm/2,100mm =0.40
	SHGC 係数	N/A	0.67	0.67	0.67
	SHGC 窓 (G1)	0.37	0.25	0.25	0.25
	SHGC 窓 (G2)	0.34	0.23	0.23	0.23
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	PF	N/A	450mm/2,100mm =0.21	650mm/2,100mm =0.31	850mm/2,100mm =0.41
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.74	0.67
	SHGC 窓 (G1)	0.37	0.30	0.27	0.25
	SHGC 窓 (G2)	0.34	0.28	0.25	0.23
北側	SHGC 窓	0.367	0.367	0.367	0.367
西側	SHGC 窓	0.37	0.37	0.37	0.37
全面	SHGC (all)	0.368	0.322	0.313	0.306
水平日射遮蔽物面積		無し	136.46m ²	169.72m ²	202.37m ²

表6.3-7 事務所建築A（カナダ）ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
c : 東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
				c : 東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更	
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3c	ケース4c
窓高さ		2,100mm	2,100mm	2,100mm	2,100mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	1,050mm	1,250mm
	PF	N/A	850mm/2,100mm =0.40	1,050mm/2,100mm =0.50	1,250mm/2,100mm =0.60
	SHGC 係数	N/A	0.67	0.61	0.56
	SHGC 窓 (G1)	0.37	0.25	0.23	0.21
	SHGC 窓 (G2)	0.34	0.23	0.21	0.19
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	PF	N/A	450mm/2,100mm =0.21	650mm/2,100mm =0.31	850mm/2,100mm =0.41
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.74	0.67
	SHGC 窓 (G1)	0.37	0.30	0.27	0.25
	SHGC 窓 (G2)	0.34	0.28	0.25	0.23
北側	SHGC 窓	0.367	0.367	0.367	0.367
西側	SHGC 窓	0.37	0.37	0.37	0.37
全面	SHGC (a11)	0.368	0.322	0.309	0.299
水平日射遮蔽物面積		無し	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

(2) 事務所建築A（カナダ）- 仮想カーテンウォール分析結果

表6.3-8, 9, 10にあるように、事務所建築A（カナダ）と仮想カーテンウォールーLow-E複層ガラス（SHGC数値0.34）の分析結果を下記に示す。表6.3-5に示すように、事務所建築A（カナダ）と仮想カーテンウォールにおける外壁面に対する窓面積は、基準値40%以上の79.5%である。このため、ASHRAE90.1, 2010のデザイン基準を満たすために事務所建築全体のエネルギー分析が必要である。

ケース1 - 水平日射遮蔽物無し(表6.3-8)

“ケース1”は水平日射遮蔽物無しの外皮状態で、SHGC数値は表6.3-2に示す最適基準値の0.4より少ない0.369である。このことより、カーテンウォールを使用した事務所建築A（カナダ）において、水平日射遮蔽物無しでもASHRAE90.1, 2010の基準値を満たしている。

ケース2 - 現状(表6.3-8)

カーテンウォールを使用した事務所建築A（カナダ）に、“ケース2 - 現状”のアルミニウム製の水平日射遮蔽物を南・東側を使用する。SHGC数値は、“ケース1 - 水平日射遮蔽物無し”より5.4%小さい。このことより、水平日射遮蔽物が運用エネルギー使用量削減において効果的な外皮性能として機能していないことが分かる。

a: 南側の水平日射遮蔽物幅のみを変更(表6.3-8)

“ケース3a”、“ケース4a”において南側の水平日射遮蔽物の幅は既存状態の850mmから1,050mm, 1,250mmに変更したときの、全SHGC数値の変化を分析している。全SHGC数値は“ケース3a”において0%，“ケース4a”は1.1%“ケース2”既存状態より小さくなっているが、ほとんど変化は見られない。

b: 東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更(表6.3-9)

“ケース3b”、“ケース4b”において東側の水平日射遮蔽物の幅は既存状態の450mmから650mm, 850mmに変更したときの、全SHGC数値の変化を分析している。既存状態における南側の水平日射遮蔽物の幅は、真上からの日光を遮断するために、東

側の水平日射遮蔽物の幅より89%ほど大きい。全SHGC数値は“ケース3b”において0%，“ケース4b”は4.0%“ケース2”既存状態より小さくなっている。

カーテンウォールを使用した事務所建築A（カナダ）東側の水平日射遮蔽物幅の変更による全SHGC数値は，南側の水平日射遮蔽物幅の変更に比べて約4倍の効果がある。

c: 東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更(表6.3-10)

“ケース3c”，“ケース4c”において南・東側の水平日射遮蔽物の幅を変更したときの，全SHGC数値の変化を分析している。全SHGC数値は“ケース3c”において6.9%“ケース2”既存状態より小さくなっている。特に，“ケース4c”では全SHGC数値が10.0%と著しく小さくなっている。これらの分析より，南・東側による単独の水平日射遮蔽物幅変更より，両南・東側の水平日射遮蔽物幅変更により大きな効果が期待できる。

表6.3-8 事務所建築A（カナダ）ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
a：南側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

事務所建築A（カナダ）					
			a：南側の水平日射遮蔽物幅のみを変更		
窓高さ		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3a	ケース4a
		3,700mm	3,700mm	3,700mm	3,700mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	1,050mm	1,250mm
	PF	N/A	$\frac{850\text{mm}}{3,700\text{mm}} = 0.23$	$\frac{1,050\text{mm}}{3,700\text{mm}} = 0.28$	$\frac{1,250\text{mm}}{3,700\text{mm}} = 0.34$
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.82	0.74
	SHGC 窓 (G1)	0.37	0.30	0.30	0.27
	SHGC 窓 (G2)	0.34	0.28	0.28	0.25
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	450mm	450mm
	PF	N/A	$\frac{450\text{mm}}{3,700\text{mm}} = 0.12$	$\frac{450\text{mm}}{3,700\text{mm}} = 0.12$	$\frac{450\text{mm}}{3,700\text{mm}} = 0.12$
	SHGC 係数	N/A	0.91	0.91	0.91
	SHGC 窓 (G1)	0.37	0.34	0.34	0.34
	SHGC 窓 (G2)	0.34	0.31	0.31	0.31
北側	SHGC 窓	0.368	0.368	0.368	0.368
西側	SHGC 窓	0.37	0.37	0.37	0.37
全面	SHGC (all)	0.369	0.349	0.349	0.345
水平日射遮蔽物面積		136.46m ²	136.46m ²	148.43m ²	160.38m ²

表6.3-9 事務所建築A（カナダ）ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
b：東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

事務所建築A（カナダ）					
				b：東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更	
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3b	ケース4b
窓高さ		2,100mm	3,700mm	3,700mm	3,700mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	850mm	850mm
	PF	N/A	850mm/3,700mm =0.23	850mm/3,700mm =0.23	850mm/3,700mm =0.23
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.82	0.82
	SHGC 窓 (G1)	0.37	0.30	0.30	0.30
	SHGC 窓 (G2)	0.34	0.28	0.28	0.28
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	PF	N/A	450mm/3,700mm =0.12	650mm/3,700mm =0.18	850mm/3,700mm =0.23
	SHGC 係数	N/A	0.91	0.91	0.82
	SHGC 窓 (G1)	0.37	0.34	0.34	0.30
	SHGC 窓 (G2)	0.34	0.31	0.31	0.28
北側	SHGC 窓	0.368	0.368	0.368	0.368
西側	SHGC 窓	0.37	0.37	0.37	0.37
全面	SHGC (a11)	0.369	0.349	0.349	0.335
水平日射遮蔽物面積		無し	136.46m ²	169.72m ²	202.37m ²

表6.3-10 事務所建築A（カナダ）ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
c：東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
				c：東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更	
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3c	ケース4c
窓高さ		3,700mm	3,700mm	3,700mm	3,700mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	1,050mm	1,250mm
	PF	N/A	850mm/3,700mm =0.23	1,050mm/3,700mm =0.28	1,250mm/3,700mm =0.34
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.82	0.74
	SHGC 窓 (G1)	0.37	0.30	0.30	0.27
	SHGC 窓 (G2)	0.34	0.28	0.28	0.25
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	PF	N/A	450mm/3,700mm =0.12	650mm/3,700mm =0.18	850mm/3,700mm =0.23
	SHGC 係数	N/A	0.91	0.74	0.67
	SHGC 窓 (G1)	0.37	0.34	0.27	0.25
	SHGC 窓 (G2)	0.34	0.31	0.25	0.23
北側	SHGC 窓	0.368	0.368	0.368	0.368
西側	SHGC 窓	0.37	0.37	0.37	0.37
全面	SHGC (a11)	0.369	0.349	0.325	0.314
水平日射遮蔽物面積		無し	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

(3) 事務所建築B（日本）の分析結果

表6. 3-11, 12, 13, 14にあるように、事務所建築B（日本）の分析結果を下記に示す。

ケース1 - 水平日射遮蔽物無し(表6. 3-11)

“ケース1”は水平日射遮蔽物無しの外皮状態で、SHGC数値は表6. 3-2に示すASHRAE90. 1, 2010の最適基準値の0. 25よりはるかに大きい。このことより、事務所建築B（日本）において、水平日射遮蔽物有でもASHRAE90. 1, 2010の基準値を満たすことは困難と考えられる。

ケース2, 3, 4(表6. 3-11)

南・東・西側それぞれ幅500mm, 700mm, 900mm, 1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して全SHGC数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較すると、14. 7%, 21. 5%, 27. 1%, 31. 7%全SHGC数値を小さくする。しかし、1,100mmの水平日射遮蔽物を設置した場合でも全SHGC数値は0. 492と最適基準値の0. 25を大きく上回っている。

ケース2, 3, 4(表6. 3-12)

事務所建築が密集地帯に建てられている状態を想定し、東側（主要立面）にのみそれぞれ幅500mm, 700mm, 900mm, 1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して、全SHGC数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較する。全SHGC数値は、水平日射遮蔽物無しより12. 5%, 26. 3%, 33. 3%, 38. 9%小さくなる。同様に、東側のみ1,100mmの水平日射遮蔽物を設置した場合でも全SHGC数値は0. 44と最適基準値の0. 25を大きく上回っている。

ケース2, 3, 4(表6. 3-13)

事務所建築A（カナダ）で使用されているSHGC：0. 37の窓を取り付け、南・東・西側それぞれ幅500mm, 700mm, 900mm, 1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して全SHGC数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較すると、1,100mmの水平日射遮蔽物を設置したときに全SHGC数値が基準値の0. 25を満たした。

ケース 2, 3, 4 (表6.3-14)

事務所建築A (カナダ)で使用されているSHGC : 0.37の窓を取り付け、密集地帯に建設された事務所建築の東側 (主要立面) にのみそれぞれ幅500mm, 700mm, 900mm, 1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して、全SHGC数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較すると、900mm, 及び、1,100mmの水平日射遮蔽物を設置したときに全SHGC数値が基準値の0.25を満たした。

表6.3-11事務所建築B (日本) ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
南・東・西側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

事務所建築B (日本)						
		ケース1 (現状)	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm
南側/東側/西側	PF	N/A	500mm/1,915mm =0.26	700mm/1,915mm =0.36	900mm/1,915mm =0.46	1100mm/1,915mm =0.57
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.74	0.67	0.61
	SHGC 窓	0.72	0.59	0.53	0.48	0.44
北側	SHGC 窓	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
全面	SHGC (all)	0.72	0.614	0.565	0.525	0.492
水平日射遮蔽物面積		無し	216.90m ²	303.66m ²	390.42m ²	477.18m ²

表6.3-12 事務所建築B (日本) ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

事務所建築B (日本)						
		ケース1(現状)	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm
東側	PF	N/A	500mm/1,915mm =0.26	700mm/1,915mm =0.36	900mm/1,915mm =0.46	1100mm/1,915mm =0.57
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.74	0.67	0.61
	SHGC 窓	0.72	0.59	0.53	0.48	0.44
南側	SHGC 窓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	SHGC 窓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
北側	SHGC 窓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
全面	SHGC (all)	0.72	0.63	0.53	0.48	0.44
水平日射遮蔽物面積		無し	143.00m ²	200.20m ²	257.40m ²	314.60m ²

表6.3-13 事務所建築B（日本）ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
南・東・西側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

事務所建築B（日本）						
		ケース 1(現状)	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm
南側/ 東側/ 西側	PF	N/A	500mm/1,915mm =0.26	700mm/1,915mm =0.36	900mm/1,915mm =0.46	1100mm/1,915mm =0.57
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.74	0.67	0.61
	SHGC 窓	0.37	0.30	0.27	0.25	0.23
北側	SHGC 窓	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
全面	SHGC (all)	0.37	0.31	0.289	0.272	0.256
水平日射遮蔽物面積		無し	216.90m ²	303.66m ²	390.42m ²	477.18m ²

表6.3-14 事務所建築B（日本）ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

事務所建築B（日本）						
		ケース 1(現状)	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm
東側	PF	N/A	500mm/1,915mm =0.26	700mm/1,915mm =0.36	900mm/1,915mm =0.46	1100mm/1,915mm =0.57
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.74	0.67	0.61
	SHGC 窓	0.37	0.30	0.27	0.25	0.23
南側	SHGC 窓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	SHGC 窓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
北側	SHGC 窓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
全面	SHGC (all)	0.37	0.34	0.27	0.25	0.23
水平日射遮蔽物面積		無し	143.00m ²	200.20m ²	257.40m ²	314.60m ²

(4) 事務所建築B（日本）の分析結果

表6.3-15, 16, 17, 18にあるように、カーテンウォールを使用した事務所建築B（日本）との分析結果を下記に示す。表6.3-5に示すように、事務所建築B（日本）と仮想カーテンウォールにおける外壁面に対する窓面積は、基準値40%以上の50.5%である。このため、ASHRAE90.1, 2010のデザイン基準を満たすために事務所建築全体のエネルギー分析が必要である。

ケース1 - 水平日射遮蔽物無し(表6.3-15)

“ケース1”は水平日射遮蔽物無しの外皮状態で、SHGC数値は表6.3-2に示すASHRAE90.1, 2010の最適基準値の0.25よりはるかに大きい0.72である。このことより、事務所建築B（日本）において、水平日射遮蔽物有でもASHRAE90.1, 2010の基準値を満たすことは困難と考えられる。

ケース2, 3, 4(表6.3-15)

南・東・西側それぞれ幅500mm, 700mm, 900mm, 1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して全SHGC数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較すると、6.4%, 13.8%, 25.3%, 29.6%全SHGC数値を小さくする。しかし、1,100mmの水平日射遮蔽物を設置した場合でも全SHGC数値は0.507と最適基準値の0.25を大きく上回っている。

ケース2, 3, 4(表6.3-16)

事務所建築が密集地帯に建てられている状態を想定し、東側（主要立面）にのみそれぞれ幅500mm, 700mm, 900mm, 1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して、全SHGC数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較する。全SHGC数値は、水平日射遮蔽物無しより3.8%, 8.1%, 14.7%, 17.2%小さくなる。同様に、東側のみ1,100mmの水平日射遮蔽物を設置した場合でも全SHGC数値は0.596と最適基準値の0.25を大きく上回っている。

ケース 2, 3, 4 (表6.3-17)

事務所建築A (カナダ)で使用されているSHGC : 0.37の窓を取り付け、南・東・西側それぞれ幅500mm, 700mm, 900mm, 1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して全SHGC数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較する。全SHGC数値は、水平日射遮蔽物無しより6.2%, 14.3%, 24.6%, 28.6%小さくなる。しかし、すべてのケースで全SHGC数値が基準値の0.25を満たしていない。

ケース 2, 3, 4 (表6.3-18)

事務所建築A (カナダ)で使用されているSHGC : 0.37の窓を取り付け、密集地帯に建設された事務所建築の東側 (主要立面) にのみそれぞれ幅500mm, 700mm, 900mm, 1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して、全SHGC数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較する。全SHGC数値は、水平日射遮蔽物無しより1.6%, 3.5%, 8.4%, 14.3%小さくなる。しかし、すべてのケースで全SHGC数値が基準値の0.25を満たしていない。

表6.3-15 事務所建築B (日本) ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
南・東・西側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

事務所建築B (日本)						
		ケース1 (現状)	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm
南側/ 東側/ 西側	PF	N/A	500mm/2,950mm =0.17	700mm/2,950mm =0.24	900mm/2,950mm =0.46	1100mm/2,950mm =0.57
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.74	0.67	0.61
	SHGC 窓	0.72	0.66	0.59	0.48	0.44
北側	SHGC 窓	0.72	0.72	0.72	0.72	0.72
全面	SHGC (all)	0.72	0.674	0.621	0.538	0.507
水平日射遮蔽物面積		無し	216.90m ²	303.66m ²	390.42m ²	477.18m ²

表6.3-16 事務所建築B（日本）ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

事務所建築B（日本）						
		ケース1 (現状)	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm
東側	PF	N/A	500mm/2,950mm =0.17	700mm/2,950mm =0.24	900mm/2,950mm =0.46	1100mm/2,950mm =0.57
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.74	0.67	0.61
	SHGC 窓	0.72	0.66	0.59	0.48	0.44
南側	SHGC 窓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	SHGC 窓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
北側	SHGC 窓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
全面	SHGC (all)	0.72	0.693	0.662	0.614	0.596
水平日射遮蔽物面積		無し	143.00m ²	200.20m ²	257.40m ²	314.60m ²

表6.3-17 事務所建築B（日本）ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
南・東・西側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

事務所建築B（日本）						
		ケース1 (現状)	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm
南側/ 東側/ 西側	PF	N/A	500mm/2,950mm =0.17	700mm/2,950mm =0.24	900mm/2,950mm =0.46	1100mm/2,950mm =0.57
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.74	0.67	0.61
	SHGC 窓	0.37	0.34	0.30	0.25	0.23
北側	SHGC 窓	0.37	0.37	0.37	0.37	0.37
全面	SHGC (all)	0.37	0.347	0.317	0.279	0.264
水平日射遮蔽物面積		無し	216.90m ²	303.66m ²	390.42m ²	477.18m ²

表6.3-18 事務所建築B（日本）ASHRAE90.1, 2010による外皮性能の評価
東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更

事務所建築B（日本）						
		ケース1 (現状)	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm
東側	PF	N/A	500mm/2,950mm =0.17	700mm/2,950mm =0.24	900mm/2,950mm =0.46	1100mm/2,950mm =0.57
	SHGC 係数	N/A	0.82	0.74	0.67	0.61
	SHGC 窓	0.37	0.34	0.30	0.25	0.23
南側	SHGC 窓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	SHGC 窓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
北側	SHGC 窓	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
全面	SHGC (all)	0.37	0.364	0.357	0.339	0.317
水平日射遮蔽物面積		無し	143.00m ²	200.20m ²	257.40m ²	314.60m ²

6.3.4 省エネルギー基準“PAL*”による建築物外皮性能の分析方法

(独) 建築研究所のホームページ「住宅・建築物の省エネルギー基準及び低炭素建築物の認定基準に関する技術情報」1) で公開されている、PAL*算定用WEB プログラムを使用してPAL*の分析を行う。表6.3-19に事務所建築A（カナダ）及び、事務所建築B（日本）におけるPAL*基準値(MJ/m²年)、及びPAL*算定用WEB プログラムで使用する両事務所建築の基本情報を示す。

“PAL*”は各階の屋内周囲空間の年間熱負荷(MJ/年)を屋内の床面積(m²)で割ったもので計算され、ASHRAE90.1,2010とは異なり空調ゾーン、外壁構成、窓仕様、外皮仕様すべてを総合して計算される。

表6.3-19 省エネルギー基準におけるカナダ・日本のPAL*基準値

	バンクーバー	東京
ソフトウェア	PAL*算定用WEBプログラム (Ver1.1.1, 2014.06)	PAL*算定用WEBプログラム (Ver1.1.1, 2014.06)
気候区域	2	6
建物用途	事務所等	事務所等
PAL* 基準値(MJ/m ² 年)	430	450
算定基準階	3F 1F	5F B1F
外壁構成	室内側	室内側
	-石膏ボード -非密閉中空層 -吹付け硬質ウレタンフォーム A種1号 -ハードファイバーボード -押出法ポリスチレンフォーム 保存版3種 -アルミニウム	-石膏ボード -非密閉中空層 -押出法ポリスチレンフォーム 保存版2種 -コンクリート
	室外側	室外側
窓仕様	6mm透明+13mm空気層+6mm透明	透明+透明

ステップ1

国土交通省：平成25年省エネルギー基準(平成25年9月公布)等関係技術資料－非住宅建築物の外皮性能評価プログラム解説(以下、外皮性能評価プログラム解説と記す)－にある“表2-1-1省エネルギー基準における地域区分”よりカナダの気候を選択することはできない。そこで、ASHRAE90.1,2010にある“TABLE B-2 Canadian Climate Zones”を参照すると、“British Columbia (B.C.) Vancouver

International A”は気候区分5である。“TABLE B-3 International Climate Zones”の“Japan”を参照すると，“Sapporo”がバンクーバーと同様に気候区分5であることがわかる。そこで，“表2-1-1省エネルギー基準における地域区分”より札幌気候区分2を選択し，これを事務所建築A（カナダ）の気候区分とした。またこの表より，事務所建築B（日本）の気候区分は5を選択した。

ステップ2

事務所建築A（カナダ）及び，事務所建築B（日本）におけるPAL*算定用WEBプログラムで使用する以下の入力シートを作成する。

- 様式0. 基本情報入力シート
- 様式2-1.（空調）空調ゾーン入力シート
- 様式2-2.（空調）外壁構成入力シート
- 様式2-3.（空調）窓仕様入力シート
- 様式2-4.（空調）外皮仕様入力シート
- 様式8.（空調）非空調外皮仕様入力シート

事務所建築A（カナダ），事務所建築B（日本）におけるPAL*算定用WEBプログラムで使用する建築材料及び，建築材料の熱伝導率は，外皮性能評価プログラム解説の“表 1-2-2 建材の種類と物性値一覧”，ガラスの熱貫流率及び，日射熱取得率は，外皮性能評価プログラム解説の“表 1-2-3 ガラスの種類と物性値一覧”を参照した。

ステップ3

事務所建築A（カナダ）及び，事務所建築B（日本）は以下の外皮性能状態で評価・分析される。

I. -既存の開口面積

-透明単層ガラス（熱貫流率：3.27，日射熱取得率：0.72）

*事務所建築B（日本）で使用されているガラス

II. -既存の開口面積

-高性能熱線反射複層ガラス（熱貫流率：3.45，日射熱取得率：0.37

*事務所建築A（カナダ）で使用されているガラス

III. -カーテンオール（床上から天井下）

-高性能熱線反射複層ガラス（熱貫流率：3.45，日射熱取得率：0.37）

ステップ4

事務所建築A（カナダ）は“ケース1”，“ケース2”，“ケース3”，“ケース4”における仮想水平日射遮蔽物をモデル事務所建築に設置し分析を行う。事務所建築A（カナダ）は環境配慮方事務所建築のため，南・東の両側に異なった幅の水平日射遮蔽物が使用されている。そのため，事務所建築A（カナダ）における“ケース3”，“ケース4”はそれぞれ以下の“a”，“b”，“c”の方位によって異なる3種類の幅の組み合わせによって分析されている。純粋な水平日射遮蔽物の影響を分析するため，事務所建築の窓の高さは既存の状態を維持した。

事務所建築B（日本）は同様に，“ケース1”，“ケース2”，“ケース3”，“ケース4”，“ケース5”における仮想水平日射遮蔽物をモデル事務所建築に設置し分析を行う。一般的な事務所建築のため，既存の事務所建築は水平日射遮蔽物が使用されていない。そのため，事務所建築B（日本）における“ケース2”，“ケース3”，“ケース4”，“ケース5”はそれぞれ以下の“d”，“e”の方位によって異なる2種類の幅の組み合わせによって分析されている。“e：東側（主要立面）の水平日射遮蔽物幅のみを変更”の分析は事務所建築が密集地帯に建てられている状態を想定したもので，道側に面した外壁にのみ採光利用できる窓がある状況进行分析する。また，事務所建築A（カナダ）で使用されているSHGC数値の低い窓を指定し，同様の分析をした。純粋な水平日射遮蔽物の影響を分析するため，事務所建築の窓の高さは既存の状態を維持した。

ステップ5

図6.3-20に示すように水平日射遮蔽物係数(p_i)を求め，“様式2-4.（空調）外皮仕様入力シート”に水平日射遮蔽物係数(p_i)を投入する。与えられたSHGC係数を事

事務所建築に使用されている窓のSHGC数値に乗じることにより、水平日射遮蔽物を使用したときの窓のSHGC数値を算出する。

表6.3-20 省エネルギー基準におけるオーバーハング係数(p_i)

	$p_i \leq 0$	$0 < p_i \leq 3$	$3 < p_i \leq 10$	$10 < p_i$
オーバーハング型の底	1.00	0.60	0.90	1.00
サイドフィン型の底		0.80		
オーバーハング型及びサイドフィン型の底	当該底のうちオーバーハング型の部分とサイドフィン型の部分のそれぞれの日よけ効果係数を乗じて得た数値			
<p>p_i は、オーバーハング型の底の場合にあっては窓の高さを底の出寸法（底と窓の上端が離れている場合にあっては、底の出寸法から底と窓の上端との距離を差し引いたもの）で除した数値とし、サイドフィン型の底の場合にあっては窓の幅を底の出寸法（底と窓の側端が離れている場合にあっては、底の出寸法から底と窓の側端との距離を差し引いたもの）で除した数値とする。</p>				

ステップ6

事務所建築 A（カナダ）に事務所建築 B（日本）の気候区分 6 を、事務所建築 B（日本）に事務所建築 A（カナダ）の気候区分 2 を用いて仮想的に PAL* 値を評価する。これは、両国の事務所建築の性能が互いの相違する気候区分で設計された時の特徴を把握するものである。

ステップ7

表6.3-5に示すように、事務所建築A（カナダ）に事務所建築B（日本）の既存の窓をカーテンウォールに変更し、ステップ1～ステップ6の分析を同様に行う。この分析は、多くのカーテンウォールを使用した事務所建築に水平日射遮蔽物使用した改築もしくは新築におけるPAL* 値の変化を把握するものである。

6.3.5 省エネルギー基準“PAL*”による建築物外皮性能の評価結果

(1) 事務所建築A（カナダ）-既存窓分析結果を下記に示す。

気候区分2（表6.3-21, 22, 23）

“ケース1”は水平日射遮蔽物無しの外皮状態で、PAL*数値は表6.3-12に示す最適基準値の430より18.6%小さい。このことより、事務所建築A（カナダ）において、水平日射遮蔽物無しでもPAL*基準値を満たしている。

水平日射遮蔽物を有する“ケース2”，“ケース3a, b, c”，“ケース4a”におけるPAL*数値は、水平日射遮蔽物無しの“ケース1”と全く変化はない。また，“ケース4b”及び“ケース4c”におけるPAL*数値は，“ケース1”と比較して0.6%小さい。このことより、PAL*算定用WEBプログラムの気候区分2における事務所建築A（カナダ）において、水平日射遮蔽物が運用エネルギー使用量削減において効果的な外皮性能として機能していないことが分かる。

表6.3-21 事務所建築A（カナダ）PAL*による外皮性能の評価
c：東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
		ケース1	ケース2(現状)	c：東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更	
窓高さ		2,100mm	2,100mm	ケース3c	ケース4c
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	1,050mm	1,250mm
	pi	N/A	2,100mm/850mm =2.47	2,100mm/1,050mm =2.0	2,100mm/1,250mm =1.68
	日除け係数	N/A	0.60	0.60	0.60
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	pi	N/A	2,100mm/450mm =4.67	2,100mm/650mm =3.23	2,100mm/850mm =2.47
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.60
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		350	350	350	348
水平日射遮蔽物面積		N/A	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

表6.3-22 事務所建築A（カナダ）PAL*による外皮性能の評価
c：東側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
		b：東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更			
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3b	ケース4b
窓高さ		2,100mm	2,100mm	2,100mm	2,100mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	850mm	850mm
	pi	N/A	2,100mm/850mm =2.47	2,100mm/850mm =2.47	2,100mm/1,250mm =2.47
	日除け係数	N/A	0.60	0.60	0.60
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	pi	N/A	2,100mm/450mm =4.67	2,100mm/650mm =3.23	2,100mm/850mm =2.47
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.60
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		350	350	350	348
水平日射遮蔽物面積		N/A	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

表6.3-23 事務所建築A（カナダ）PAL*による外皮性能の評価
c：南側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
		a：南側の水平日射遮蔽物幅のみを変更			
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3a	ケース4a
窓高さ		2,100mm	2,100mm	2,100mm	2,100mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	850mm	850mm
	pi	N/A	2,100mm/850mm =2.47	2,100mm/1,050mm =2.0	2,100mm/1,250mm =1.68
	日除け係数	N/A	0.60	0.60	0.60
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	pi	N/A	2,100mm/450mm =4.67	2,100mm/450mm =4.67	2,100mm/450mm =4.67
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.90
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		350	350	350	350
水平日射遮蔽物面積		N/A	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

気候区分 6 (表6. 3-24, 25, 26)

“ケース1” は水平日射遮蔽物無しの外皮状態で、PAL*数値は表6. 3-12に示す最適基準値の450と同じである。しかし、水平日射遮蔽物を有する“ケース2”，“ケース3, a, b, c”，“ケース4a”におけるPAL*数値は、水平日射遮蔽物無しの“ケース1”と比較して、0.7%小さい。また，“ケース4c”及び“ケース4b”におけるPAL*数値は，“ケース1”と比較して2.0%小さい。

このことより、事務所建築A（カナダ）における水平日射遮蔽物が気候区部 2（札幌）より、気候区部 6（東京）で効果的な外皮性能として機能をしていることが分かる。

表6. 3-24 事務所建築A（カナダ）PAL*による外皮性能の評価
c：東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
		c：東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更			
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3c	ケース4c
窓高さ		2,100mm	2,100mm	2,100mm	2,100mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	1,050mm	1,250mm
	pi	N/A	$\frac{2,100\text{mm}}{850\text{mm}} = 2.47$	$\frac{2,100\text{mm}}{1,050\text{mm}} = 2.0$	$\frac{2,100\text{mm}}{1,250\text{mm}} = 1.68$
	日除け係数	N/A	0.60	0.60	0.60
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	pi	N/A	$\frac{2,100\text{mm}}{450\text{mm}} = 4.67$	$\frac{2,100\text{mm}}{650\text{mm}} = 3.23$	$\frac{2,100\text{mm}}{850\text{mm}} = 2.47$
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.60
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		449	446	446	440
水平日射遮蔽物面積		N/A	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

表6.3-25 事務所建築A（カナダ）PAL*による外皮性能の評価
b：東側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
		b：東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更			
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3b	ケース4b
窓高さ		2,100mm	2,100mm	2,100mm	2,100mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	850mm	850mm
	pi	N/A	2,100mm/850mm =2.47	2,100mm/850mm =2.47	2,100mm/1,250mm =2.47
	日除け係数	N/A	0.60	0.60	0.60
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	pi	N/A	2,100mm/450mm =4.67	2,100mm/650mm =3.23	2,100mm/850mm =2.47
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.60
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		449	446	446	440
水平日射遮蔽物面積		N/A	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

表6.3-26 事務所建築A（カナダ）PAL*による外皮性能の評価
a：南側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
		a：南側の水平日射遮蔽物幅のみを変更			
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3a	ケース4a
窓高さ		2,100mm	2,100mm	2,100mm	2,100mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	850mm	850mm
	pi	N/A	2,100mm/850mm =2.47	2,100mm/1,050mm =2.0	2,100mm/1,250mm =1.68
	日除け係数	N/A	0.60	0.60	0.60
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	pi	N/A	2,100mm/450mm =4.67	2,100mm/450mm =4.67	2,100mm/450mm =4.67
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.90
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		449	446	446	446
水平日射遮蔽物面積		N/A	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

(2) 事務所建築A（カナダ）-仮想カーテンウォール分析結果を下記に示す。

気候区分 2 (表6. 3-27, 28, 29)

“ケース1” は水平日射遮蔽物無しの外皮状態で、PAL*数値は表6. 3-12に示す最適基準値の430より10.9%小さい。このことより、事務所建築A（カナダ）において、水平日射遮蔽物無しでもPAL*基準値を満たしている。

水平日射遮蔽物を有する“ケース2”，“ケース3a, b, c”，“ケース4b”におけるPAL*数値は、水平日射遮蔽物無しの“ケース1”より2.1%小さい。また，“ケース4a”及び“ケース4c”におけるPAL*数値は，“ケース1”と比較してそれぞれ1.6%，4.2%小さい。このことより、PAL*算定用WEB プログラムの気候区分 2における事務所建築A（カナダ）において、水平日射遮蔽物が運用エネルギー使用量削減において効果的な外皮性能として機能していないことが分かる。

表6. 3-27 事務所建築A（カナダ）PAL*による外皮性能の評価
c：東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
		ケース 1		c：東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更	
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3c	ケース4c
窓高さ		3,700mm	3,700mm	3,700mm	3,700mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	1,050mm	1,250mm
	pi	N/A	$\frac{3,700\text{mm}}{850\text{mm}} = 4.35$	$\frac{3,700\text{mm}}{1,050\text{mm}} = 3.52$	$\frac{3,700\text{mm}}{1,250\text{mm}} = 2.96$
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.60
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	pi	N/A	$\frac{3,700\text{mm}}{450\text{mm}} = 8.22$	$\frac{3,700\text{mm}}{650\text{mm}} = 5.69$	$\frac{3,700\text{mm}}{850\text{mm}} = 4.35$
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.60
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		383	375	375	367
水平日射遮蔽物面積		N/A	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

表6.3-28 事務所建築A（カナダ）PAL*による外皮性能の評価
b：東側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
		b：東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更			
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3b	ケース4b
窓高さ		3,700mm	3,700mm	3,700mm	3,700mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	850mm	850mm
	pi	N/A	3,700mm/850mm =4.35	3,700mm/850mm =4.35	3,700mm/850mm =4.35
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.90
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	pi	N/A	3,700mm /450mm =8.22	3,700mm /650mm =5.69	3,700mm /850mm =4.35
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.90
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		383	375	375	375
水平日射遮蔽物面積		N/A	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

表6.3-29 事務所建築A（カナダ）PAL*による外皮性能の評価
a：南側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
		a：南側の水平日射遮蔽物幅のみを変更			
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3a	ケース4a
窓高さ		3,700mm	3,700mm	3,700mm	3,700mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	850mm	850mm
	pi	N/A	3,700mm/850mm =4.35	3,700mm /1,050mm =3.52	3,700mm /1,250mm =2.96
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.60
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	pi	N/A	3,700mm /450mm =8.22	3,700mm /450mm =8.22	3,700mm /450mm =8.22
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.90
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		383	375	375	377
水平日射遮蔽物面積		N/A	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

気候区分 6 (表6. 3-30, 31, 32)

“ケース1”は水平日射遮蔽物無しの外皮状態で、PAL*数値は表6. 3-12に示す最適基準値の450より19.1%大きい。しかし、水平日射遮蔽物を有する“ケース2”，“ケース3”，“ケース4a”におけるPAL*数値は、水平日射遮蔽物無しの“ケース1”と比較して、3.7%小さい。また，“ケース4c”及び“ケース4b”におけるPAL*数値は，“ケース1”と比較して14.0%小さい。

このことより、事務所建築A（カナダ）における水平日射遮蔽物が気候区部 2（札幌）より、気候区部 6（東京）で効果的な外皮性能として機能をしていることが分かる。

表6. 3-30 事務所建築A（カナダ）PAL*による外皮性能の評価
c：東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
				c：東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更	
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3c	ケース4c
窓高さ		3,700mm	3,700mm	3,700mm	3,700mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	1,050mm	1,250mm
	pi	N/A	$3,700\text{mm}/850\text{mm}$ =4.35	$3,700\text{mm} / 1,050\text{mm}$ =3.52	$3,700\text{mm} / 1,250\text{mm}$ =2.96
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.60
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	pi	N/A	$3,700\text{mm} / 450\text{mm}$ =8.22	$3,700\text{mm} / 650\text{mm}$ =5.69	$3,700\text{mm} / 850\text{mm}$ =4.35
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.60
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		536	516	516	461
水平日射遮蔽物面積		N/A	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

表6.3-31 事務所建築A（カナダ）PAL*による外皮性能の評価
b：東側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
				b：東側の水平日射遮蔽物幅のみを変更	
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3b	ケース4b
窓高さ		3,700mm	3,700mm	3,700mm	3,700mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	850mm	850mm
	pi	N/A	3,700mm/850mm =4.35	3,700mm/850mm =4.35	3,700mm/850mm =4.35
	日除け係数	N/A	0.60	0.60	0.60
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	pi	N/A	3,700mm /450mm =8.22	3,700mm /650mm =5.69	3,700mm /850mm =4.35
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.60
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		536	516	516	461
水平日射遮蔽物面積		N/A	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

表6.3-32 事務所建築A（カナダ）PAL*による外皮性能の評価
a：南側の水平日射遮蔽物幅を変更

事務所建築A（カナダ）					
				a：南側の水平日射遮蔽物幅のみを変更	
		ケース 1	ケース2(現状)	ケース3a	ケース4a
窓高さ		3,700mm	3,700mm	3,700mm	3,700mm
南側	水平日射遮蔽物幅	無し	850mm	850mm	850mm
	pi	N/A	3,700mm/850mm =4.35	3,700mm /1,050mm =3.52	3,700mm /1,250mm =2.96
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.60
東側	水平日射遮蔽物幅	無し	450mm	650mm	850mm
	pi	N/A	3,700mm /450mm =8.22	3,700mm /450mm =8.22	3,700mm /450mm =8.22
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.90
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		536	516	516	516
水平日射遮蔽物面積		N/A	136.46m ²	181.68m ²	226.67m ²

(3) 事務所建築B（日本）-既存窓分析結果を下記に示す。

気候区分 6（表6. 3-33, 34）

“ケース1” は水平日射遮蔽物無しの外皮状態で、PAL*数値は表6. 3-12に示す最適基準値の450より7.1%小さい。このことより、事務所建築B（日本）において、水平日射遮蔽物無しでもPAL*基準値を満たしている。

南・東・西側それぞれ幅500mm，700mm，900mm，1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して全PAL*数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較すると，幅500mmは0.5%，他のケースは1.9%PAL*数値を小さくする。また，事務所建築が密集地帯に建てられている状態を想定し，東側（主要立面）にのみそれぞれ幅500mm，700mm，900mm，1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して，PAL*数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較する。PAL*数値は幅500mmのとき0.5%，他のケースは水平日射遮蔽物無しより1.5%小さくなる。密集地帯にある水平日射遮蔽物を設置した事務所建築は，南・東・西側それぞれ水平日射遮蔽物が設置されている事務所建築より，PAL*数値の下げ幅が0.4%小さい。

表6. 3-33 事務所建築B（日本）PAL*による外皮性能の評価
南・東・西側の水平日射遮蔽物幅を変更

水平日射遮蔽型日よけ（日本）						
		現状	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm
南側/ 東側/ 西側	pi	N/A	1,915/500mm =3.83	1,915/700mm =2.74	1,915/900mm =2.13	1,915/1,100mm =1.74
	日除け係数	N/A	0.90	0.60	0.60	0.60
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		418	416	410	410	410
水平日射遮蔽物面積		無し	216.9m ²	303.66m ²	390.42m ²	477.18m ²

表6.3-34 事務所建築B（日本）PAL*による外皮性能の評価
東側の水平日射遮蔽物幅を変更

水平日射遮蔽型日よけ（日本）						
		現状	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm
東側	pi	N/A	1,915/500mm =3.83	1,915/700mm =2.74	1,915/900mm =2.13	1,915/1,100mm =1.74
	日除け係数	N/A	0.90	0.60	0.60	0.60
南側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		407	405	401	401	401
水平日射遮蔽物面積		無し	143.00m ²	200.20m ²	257.40m ²	314.60m ²

気候区分6（表6.3-35, 36）

事務所建築B（日本）に事務所建築A（カナダ）で使用されているSHGC：0.37の窓を取り付け、既存の水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較すると、PAL*数値が11.1%減少した。

事務所建築A（カナダ）で使用されているSHGC：0.37の窓を取り付け、南・東・西側それぞれ幅500mm、700mm、900mm、1,100mmの水平日射遮蔽物を設置してPAL*数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較すると、幅500mmは1.0%、他のケースはPAL*数値が2.8%小さくなる。また、事務所建築A（カナダ）で使用されているSHGC：0.37の窓を取り付け、密集地帯に建設された事務所建築の東側（主要立面）にのみそれぞれ幅500mm、700mm、900mm、1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して、全SHGC数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較すると、700mm, 900mm、及び、1,100mmの水平日射遮蔽物を設置したときにPAL*数値は1.8%減少した。

このことより、既存のガラスに水平日射遮蔽物のみを設置するより、SHGCの低い高性能ガラスを取り入れることによって、PAL*数値を小さくする約2倍の効果がある。また、高性能ガラスと水平日射遮蔽物の併用により、PAL*数値7.1%小さくする。

同様に、事務所建築B（日本）を事務所建築A（カナダ）の立地条件である気候区分2（基準値420）によって評価すると、水平日射遮蔽物が効果的な外皮性能として機能をしていないことが分かる。

表6.3-35 事務所建築B（日本）PAL*による外皮性能の評価
南・東・西側の水平日射遮蔽物幅を変更

水平日射遮蔽型日よけ（日本）						
		現状	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm
南側/ 東側/ 西側	pi	N/A	1,915/500mm =3.83	1,915/700mm =2.74	1,915/900mm =2.13	1,915/1,100mm =1.74
	日除け係数	N/A	0.90	0.60	0.60	0.60
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		400	396	388	388	388
水平日射遮蔽物面積		無し	216.9m ²	303.66m ²	390.42m ²	477.18m ²

表6.3-36 事務所建築B（日本）PAL*による外皮性能の評価
東側の水平日射遮蔽物幅を変更

水平日射遮蔽型日よけ（日本）						
		現状	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm	1,915mm
東側	pi	N/A	1,915/500mm =3.83	1,915/700mm =2.74	1,915/900mm =2.13	1,915/1,100mm =1.74
	日除け係数	N/A	0.90	0.60	0.60	0.60
南側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		390	388	383	383	383
水平日射遮蔽物面積		無し	143.00m ²	200.20m ²	257.40m ²	314.60m ²

事務所建築B（日本）-仮想カーテンウォール分析結果を下記に示す。

気候区分6（表6.3-37, 38）

“ケース1”は水平日射遮蔽物無しの外皮状態で、PAL*数値は表6.3-12に示す最適基準値の450より6.4%大きい。このことより、カーテンウォールを使用した事務所建築B（日本）において、水平日射遮蔽物無しでPAL*基準値を満たしていない。

南・東・西側それぞれ幅500mm、700mm、900mm、1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して全PAL*数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較すると、幅500mm、700mm、900mm、は1.3%、1,100mmのケースは4.0%PAL*数値を小さくする。また、事務所建築が密集地帯に建てられている状態を想定し、東側（主要立面）にのみそれぞれ幅

500mm, 700mm, 900mm, 1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して、PAL*数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較する。PAL*数値は幅500mm, 700mm, 900mm, のとき0.9%, 1,100mmのケースは水平日射遮蔽物無しより3.0%小さくなる。密集地帯にある水平日射遮蔽物を設置した事務所建築は、南・東・西側それぞれ水平日射遮蔽物が設置されている事務所建築より、PAL*数値の下げ幅が25%小さい。

表6.3-37 事務所建築B（日本）PAL*による外皮性能の評価
南・東・西側の水平日射遮蔽物幅を変更

水平日射遮蔽型日よけ（日本）						
	現状	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	
水平日射遮蔽物幅	無し	500mm	700mm	900mm	1100mm	
窓高さ	2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm	
南側/ 東側/ 西側	pi	N/A	2,950/500mm =5.9	2,950/700mm =4.21	2,950/900mm =3.28	2,950/1,100mm =2.68
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.90	0.60
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*	479	473	473	473	460	
水平日射遮蔽物面積	無し	216.9m ²	303.66m ²	390.42m ²	477.18m ²	

表6.3-38 事務所建築B（日本）PAL*による外皮性能の評価
東側の水平日射遮蔽物幅を変更

水平日射遮蔽型日よけ（日本）						
	現状	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	
水平日射遮蔽物幅	無し	500mm	700mm	900mm	1100mm	
窓高さ	2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm	
東側	pi	N/A	2,950/500mm =5.9	2,950/700mm =4.21	2,950/900mm =3.28	2,950/1,100mm =2.68
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.90	0.60
南側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*	437	433	433	433	424	
水平日射遮蔽物面積	無し	143.00m ²	200.20m ²	257.40m ²	314.60m ²	

気候区分6（表6.3-39, 40）

事務所建築B（日本）に事務所建築A（カナダ）で使用されているSHGC：0.37の窓を取り付け、既存の水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較すると、PAL*数値が6.2%減少した。その結果、PAL*数値は最適基準値の450を満たした。

事務所建築A（カナダ）で使用されているSHGC：0.37の窓を取り付け、南・東・西側それぞれ幅500mm，700mm，900mm，1,100mmの水平日射遮蔽物を設置してPAL*数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較すると，幅500mm，700mm，900mm，は2.7%，1,100mmのケースはPAL*数値が10.0%小さくなる。また，事務所建築A（カナダ）で使用されているSHGC：0.37の窓を取り付け，密集地帯に建設された事務所建築の東側（主要立面）にのみそれぞれ幅500mm，700mm，900mm，1,100mmの水平日射遮蔽物を設置して，全SHGC数値を水平日射遮蔽物無しの外皮状態と比較すると，500mm，700mm，900mm，の水平日射遮蔽物を設置したときにPAL*数値は1.1%減少し，1,100mmの水平日射遮蔽物を設置したときにPAL*数値は4.5%減少した。

このことより，既存のガラスに水平日射遮蔽物のみを設置するより，SHGCの低い高性能ガラスを取り入れることによって，PAL*数値を小さくする約1.6倍の効果がある。また，高性能ガラスと水平日射遮蔽物の併用により，PAL*数値を既存の事務所建築B（日本）より16%小さくする。

同様に，事務所建築B（日本）を事務所建築A（カナダ）の立地条件である気候区分2（基準値420）によって評価すると，水平日射遮蔽物が効果的な外皮性能として機能をしていないことが分かる。

表6.3-39 事務所建築B（日本）PAL*による外皮性能の評価
南・東・西側の水平日射遮蔽物幅を変更

水平日射遮蔽型日よけ（日本）						
		現状	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm
南側/ 東側/ 西側	pi	N/A	2,950/500mm =5.9	2,950/700mm =4.21	2,950/900mm =3.28	2,950/1,100mm =2.68
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.90	0.60
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		449	437	437	437	404
水平日射遮蔽物面積		無し	216.9m ²	303.66m ²	390.42m ²	477.18m ²

表6.3-39 事務所建築B（日本）PAL*による外皮性能の評価
南・東・西側の水平日射遮蔽物幅を変更

水平日射遮蔽型日よけ（日本）						
		現状	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
水平日射遮蔽物幅		無し	500mm	700mm	900mm	1100mm
窓高さ		2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm	2,950mm
東側	pi	N/A	2,950/500mm =5.9	2,950/700mm =4.21	2,950/900mm =3.28	2,950/1,100mm =2.68
	日除け係数	N/A	0.90	0.90	0.90	0.60
南側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
西側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
北側	日除け係数	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
PAL*		421	416	416	416	402
水平日射遮蔽物面積		無し	143.00m ²	200.20m ²	257.40m ²	314.60m ²

6.3.6 ASHRAE90.1, 2010と省エネルギー基準“PAL*”による建築物外皮性能の評価比較結果

事務所建築A（カナダ）及び、事務所建築B（日本）における透明単層ガラス，Low-Eガラス，カーテンウォールに水平日射遮蔽物を使用したときのASHRAE90.1, 2010 “SHGC” と省エネルギー基準“PAL*”による外皮性能の評価比較を示す。同様の事務所建築が評価方法の違うASHRAE90.1, 2010 “SHGC” と省エネルギー基準“PAL*”を使用して分析することによって，ASHRAE90.1, 2010 “SHGC” と省エネルギー基準“PAL*”による基準値設定の相違を考察する。

（1）事務所建築A（カナダ）-バンクーバー気候

図6.3-2, 3, 4は，事務所建築A（カナダ）に東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更してASHRAE90.1, 2010のSHGC基準値と省エネルギー基準PAL*基準値に対する割合をバンクーバーの気候区分によって比較したものである。事務所建築A（カナダ）に事務所建築B（日本）で使用されている透明単層ガラスを使用しASHRAE90.1, 2010のSHGC値を考察すると，水平日射遮蔽物を使用しても基準値を達成できなかった。ASHRAE90.1の場合，水平日射遮蔽物無しでSHGC値は-80%，有で最大-44%となった。また図6.3より，事務所建築A（カナダ）によるPAL*値は水平日射遮蔽物有無にかかわらず-18%となった。このことより，PAL*算定において，水平日射遮蔽物の効果があまり考慮されていないことが分かる。

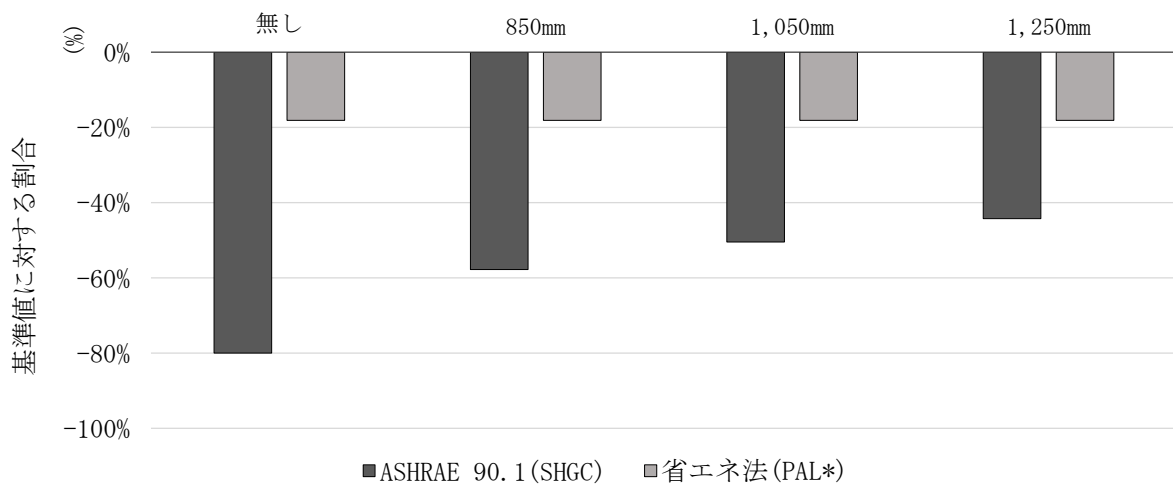


図6.3-2 事務所建築A（カナダ）の透明単層ガラスにおける
ASHRAE90.1, 2010と省エネルギー基準“PAL*”

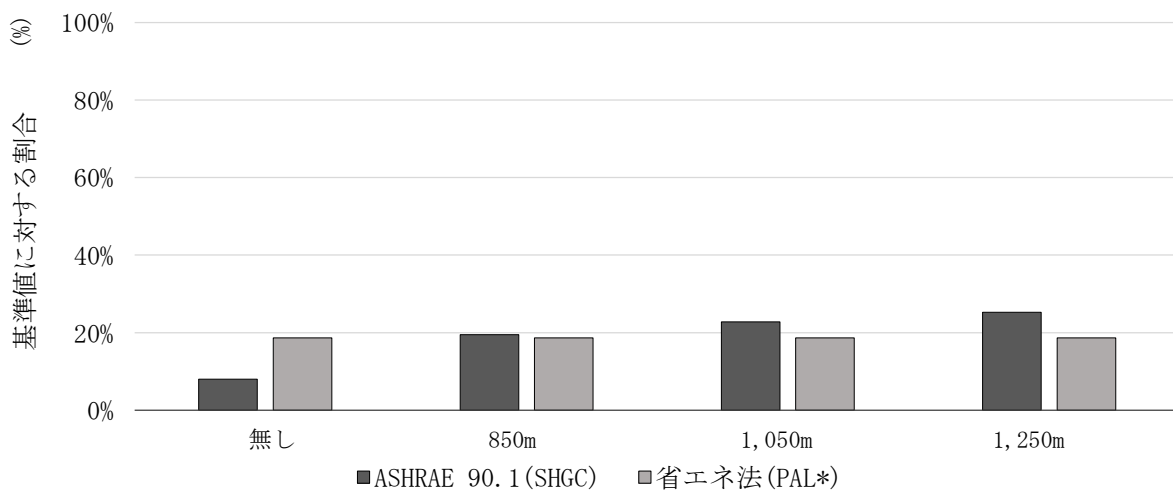


図6.3-3 事務所建築A（カナダ）のLow-Eガラスにおける
ASHRAE90.1, 2010と省エネルギー基準“PAL*”

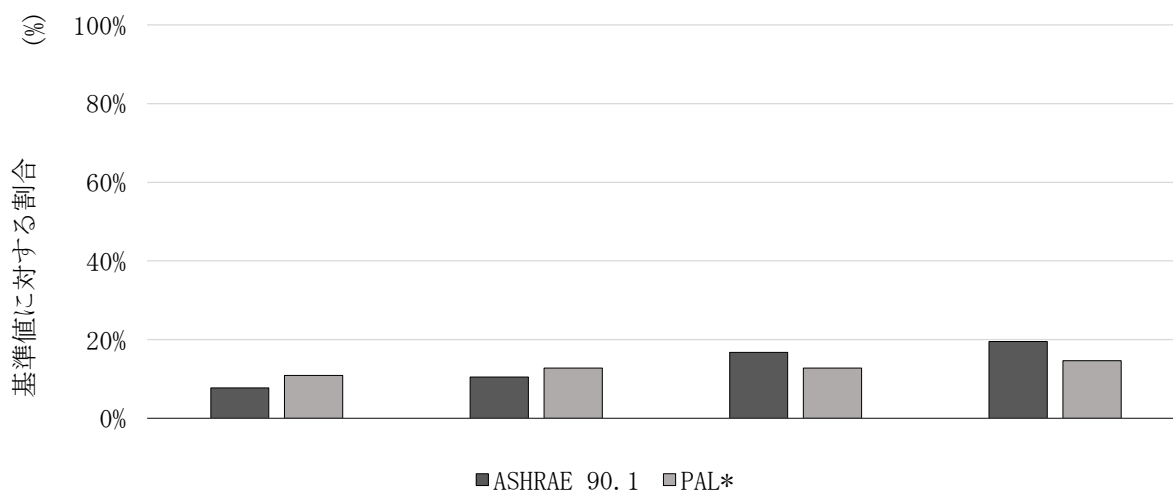


図6.3-4 事務所建築A（カナダ）のカーテンウォールにおける
ASHRAE90.1, 2010と省エネルギー基準“PAL*”

図6.3-3, 4は、事務所建築A（カナダ）におけるLow-Eガラス及び、カーテンウォールに東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更してASHRAE90.1, 2010のSHGC基準値と省エネルギー基準PAL*基準値に対する割合によって比較したものである。双方の外皮条件でSHGC及び、PAL*の基準値をすべて達成することができた。SHGC基準値は、水平日射遮蔽物無しの外皮条件で双方とも約8%基準値を超えている。また、Low-Eガラスの外皮条件に水平日射遮蔽物を使用したとき最大で25%基準値を上回っている。PAL*値はLow-Eガラス(+18.6%)及び、カーテンウォール(+10.9~14.7%)の外皮条件に水平日射遮蔽物を使用しても変化はあまり見られなかった。しかし、Low-EガラスとカーテンウォールにおけるPAL*値を比較してみると、Low-Eガラスによる平日射遮蔽物の効果は約45%カーテンウォールより大きいことがわかる。

（2）事務所建築A（カナダ）-東京気候

図6.3-5, 6, 7は、事務所建築A（カナダ）に透明単層ガラス、Low-Eガラス、カーテンウォールの外皮条件に東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更して、東京の気候区分でSHGC値、PAL*値を基準値に対する割合で比較・分析したものである。ASHRAE90.1, 2010において、事務所建築A（カナダ）はSHGC基準値をすべての外皮条件で満たすことはできず、SHGC値は最大透明単層ガラスの外皮条件で-188%であった。一方、事務所建築A（カナダ）はLow-Eガラスの外皮条件のみで省エネルギー基準PAL*基準値を満たすことができた。このことは、ASHRAE90.1, 2010における評価基準値が、省エネルギー基準PAL*の評価基準値よりも厳しいことがあげられる。また、東京の気候区分でPAL*値を比較・分析すると、水平日射遮蔽物の効果がカナダの気候区分に比べて約1.4倍大きいことが分かる。

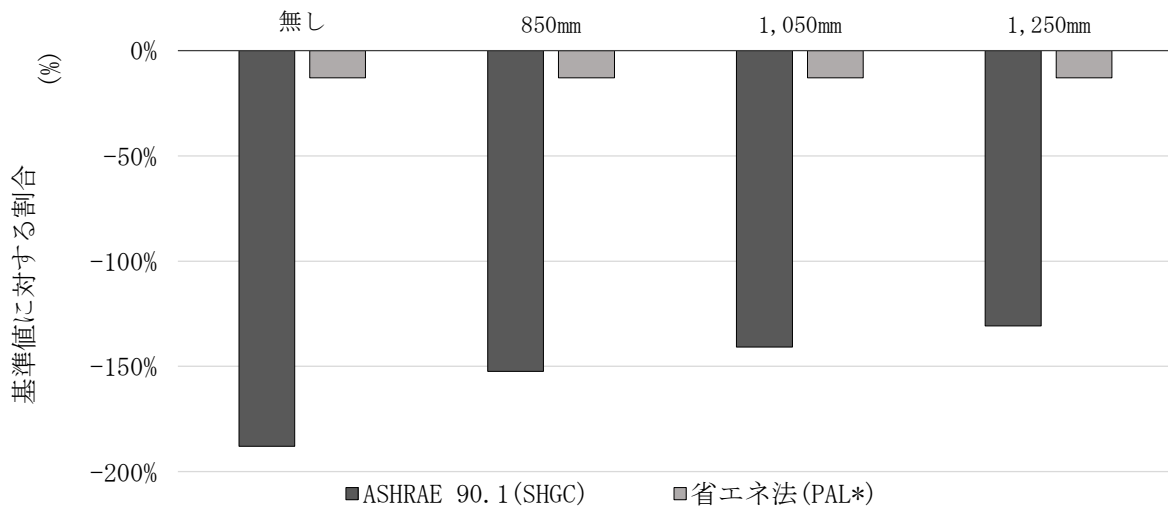


図6.3-5 事務所建築A（カナダ）の透明単層ガラスにおけるASHRAE90.1, 2010と省エネルギー基準“PAL*”

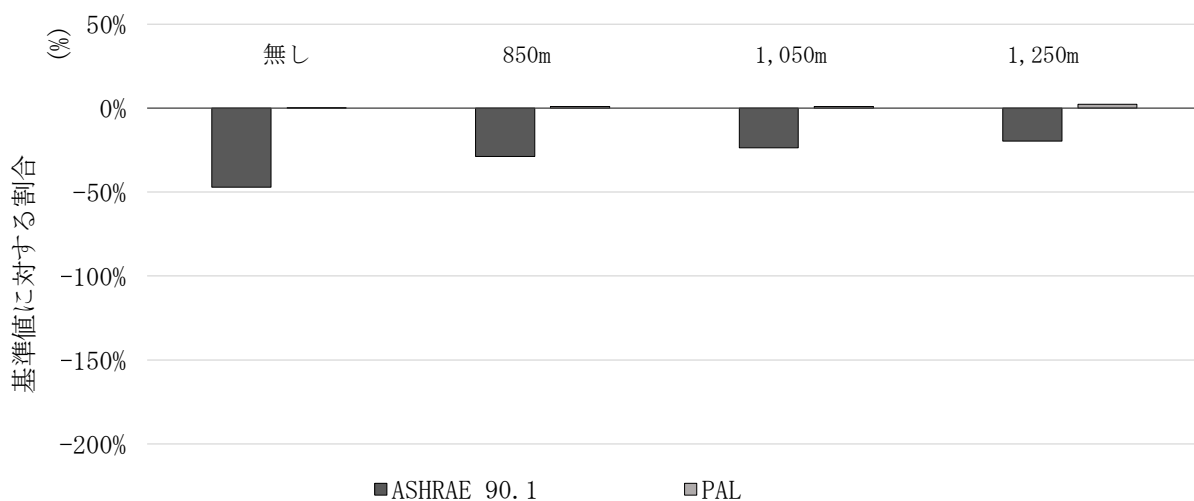


図 6.3-6 事務所建築 A（カナダ）の Low-E ガラスにおけるASHRAE90.1, 2010 と省エネルギー基準“PAL*”

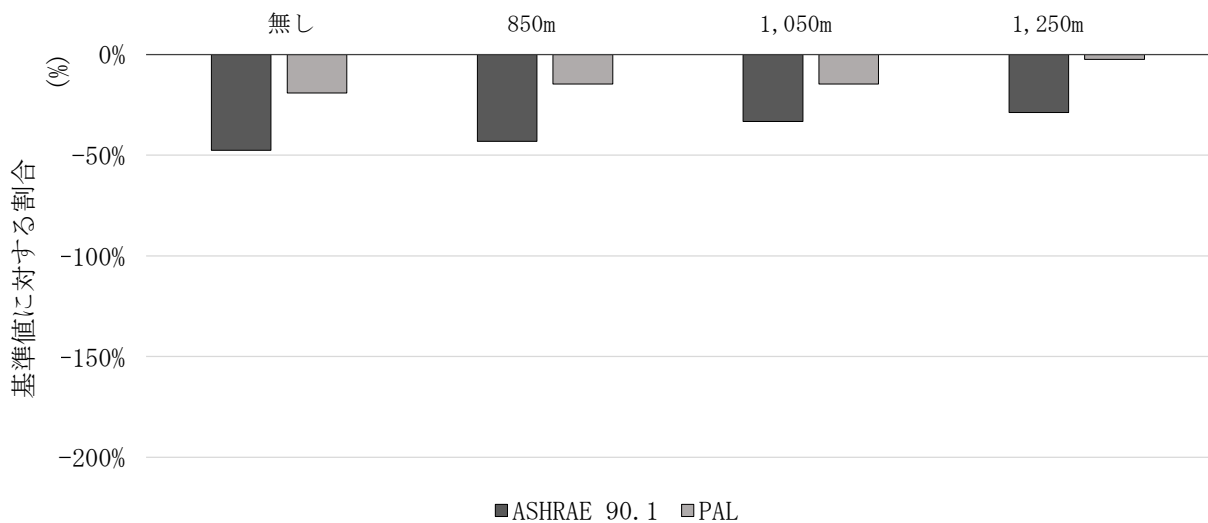


図 6.3-7 事務所建築 A（カナダ）のカーテンウォールにおけるASHRAE90.1, 2010 と省エネルギー基準“PAL*”

(3) 事務所建築B（日本）-東京気候

図6.3-8, 9, 10は、事務所建築B（日本）における透明単層ガラス，Low-Eガラス，カーテンウォールの外皮条件に東側のみ水平日射遮蔽物幅を変更して，ASHRAE90.1, 2010のSHGC基準値と省エネルギー基準PAL*基準値に対する割合によって比較したものである。事務所建築B（日本）におけるASHRAE90.1, 2010のSHGC値を考察すると，すべてのケースでSHGC基準値を満たしていない。水平日射遮蔽物を使用していない現状はもとより，水平日射遮蔽物を設置しても最大で188.0%，最小でSHGC値は8.0%小さい。唯一SHGC基準値を満たしている外皮条件は，Low-Eガラスに水平日射遮蔽物を使用したときである。また図より，事務所建築B（日本）はすべての外皮条件でPAL*基準値を満たしていることも考察できる。SHGC値と異なり，PAL*値はどのケースにおいても約10%大きい。また，水平日射遮蔽物幅に関わらずどのケースも一定である。

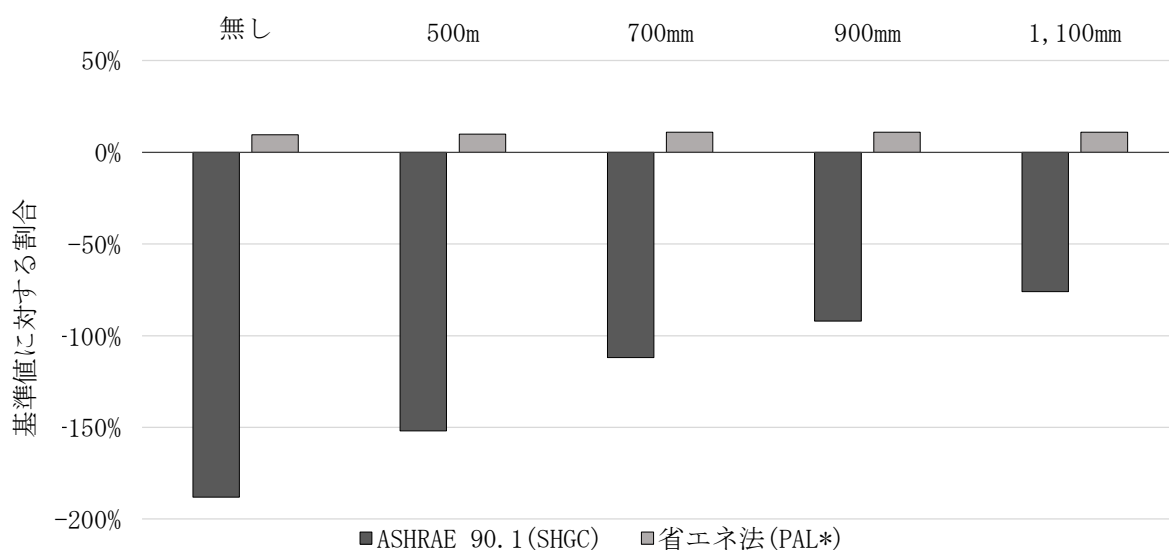


図6.3-8 事務所建築B（日本）の透明単層ガラスにおけるASHRAE90.1, 2010と省エネルギー基準“PAL*”

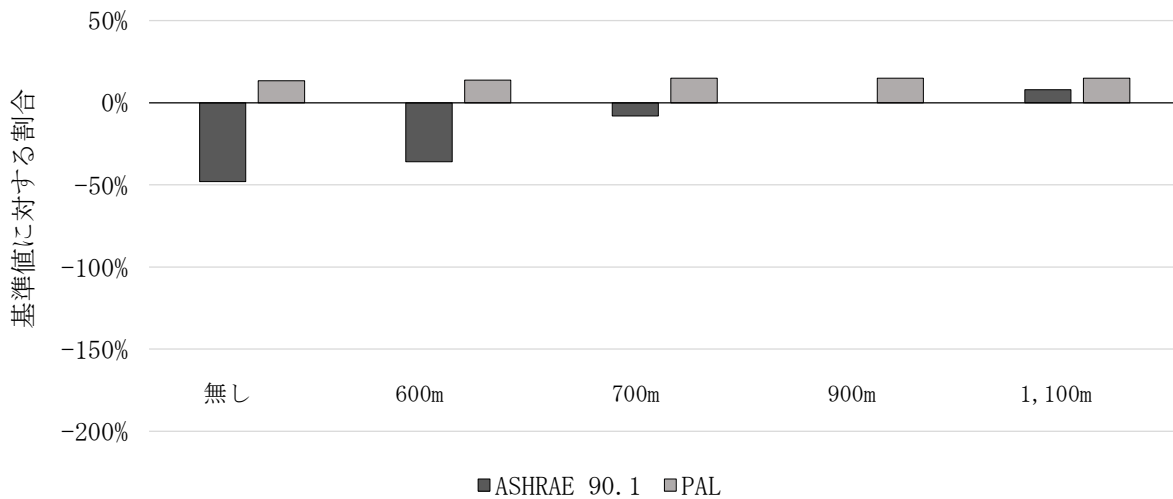


図 6.3-9 事務所建築 B（日本）の Low-E ガラスにおける
ASHRAE90.1, 2010 と省エネルギー基準 “PAL*”

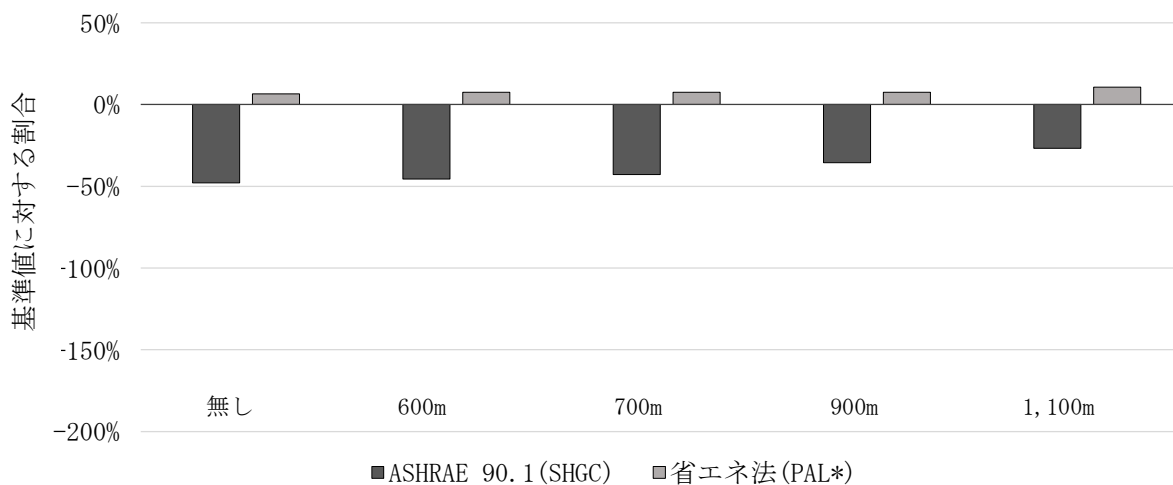


図 6.3-10 事務所建築 B（日本）のカーテンウォールにおける
ASHRAE90.1, 2010 と省エネルギー基準 “PAL*”

（４）事務所建築B（日本）-バンクーバー気候

図6.3-11, 12, 13は、事務所建築B（日本）における透明単層ガラス、Low-Eガラス、カーテンウォールの外皮条件に東側のみの水平日射遮蔽物幅を変更して、バンクーバーの気候区分でSHGC値、PAL＊値を比較・分析したものである。バンクーバーの気候区分で分析するとSHGC値は東京の気候区分の分析より最低で100%以上改善した。しかし、事務所建築B（日本）におけるASHRAE90.1, 2010のSHGC値を考察すると、透明単層ガラスの外皮条件でSHGC基準値を満たしていない。また東京の気候区分の分析同様、PAL＊数値は基準値はカーテンウォールの外皮条件の時に最大で25%基準値を満たしていることも考察できる。SHGC値と異なり、PAL＊値は水平日射遮蔽物幅に関わらずどのケースも一定である。

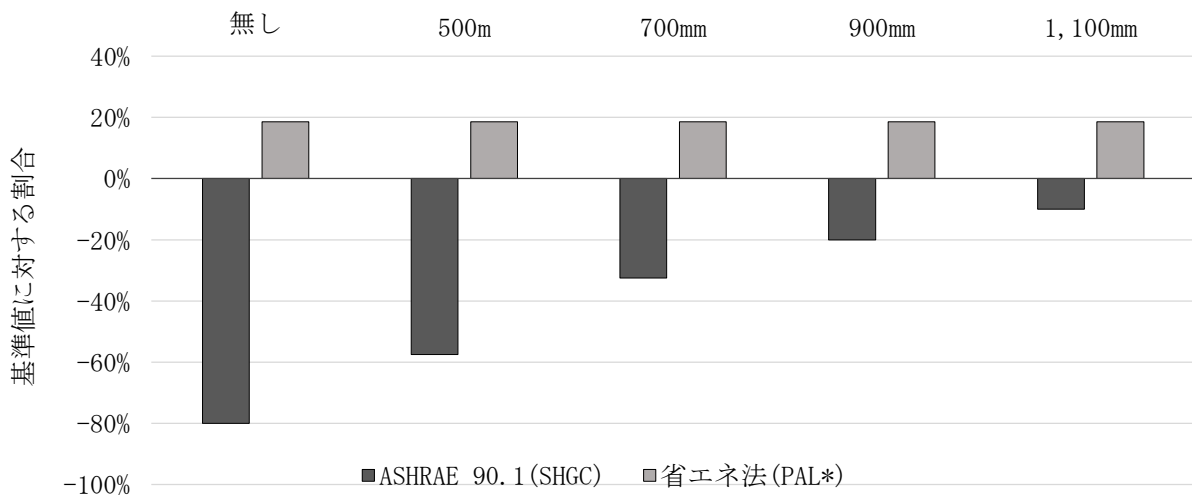


図 6.3-11 事務所建築 B（日本）の透明単層ガラスにおける ASHRAE90.1, 2010 と省エネルギー基準 “PAL*”

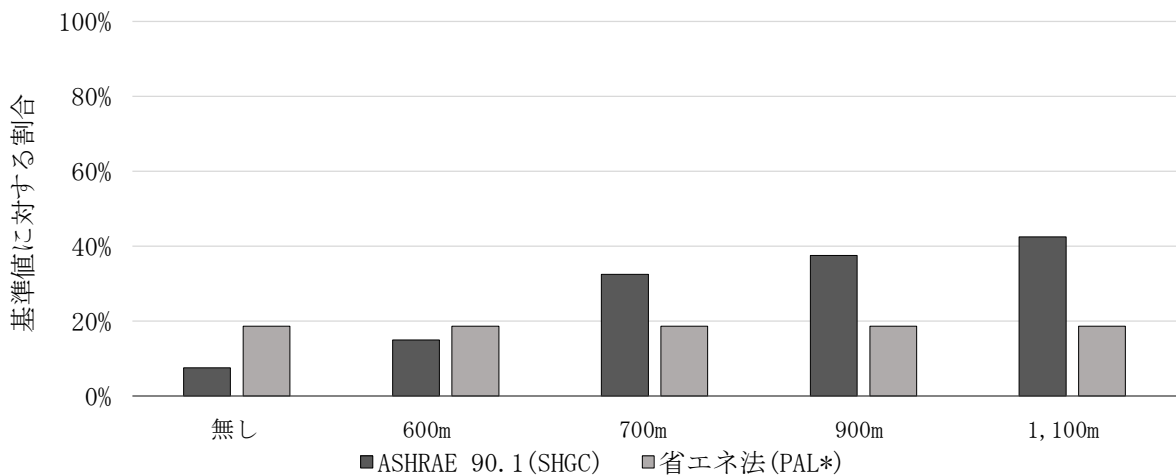


図 6.3-12 事務所建築 B（日本）の Low-E ガラスにおける ASHRAE90.1, 2010 と省エネルギー基準 “PAL*”

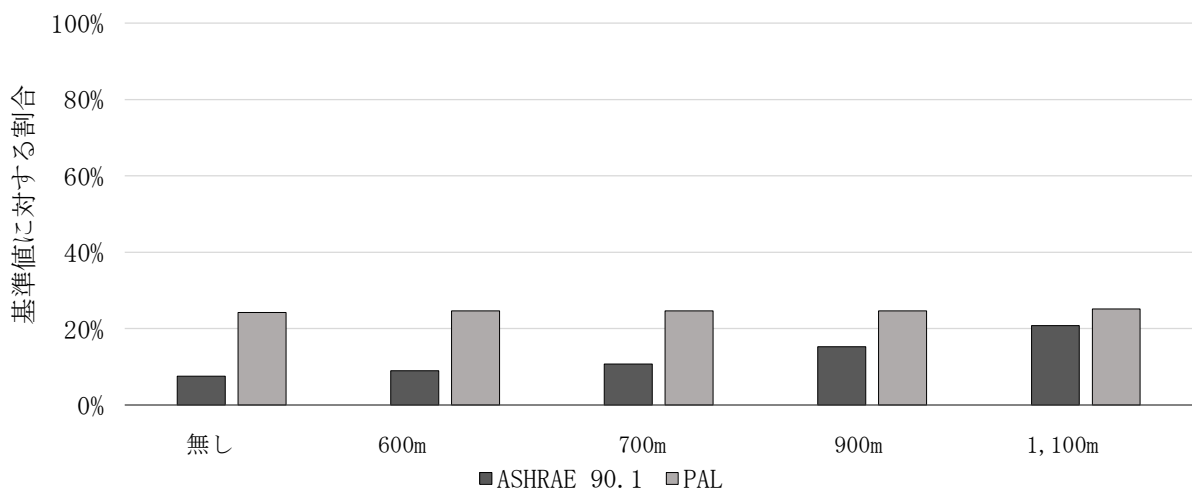


図 6.3-13 事務所建築 B（日本）のカーテンウォールにおける ASHRAE90.1, 2010 と省エネルギー基準 “PAL*”

6.3.7 省エネルギー基準“PAL*”による建築物外皮性能の評価比較結果

事務所建築A（カナダ）及び事務所建築B（日本）における透明単層ガラス，Low-E 複層ガラス，カーテンウォールに水平日射遮蔽物を使用したときの省エネルギー基準PAL*による外皮性能の評価比較をそれぞれの基準値に対しての割合(%)で評価する。

事務所建築A（カナダ）及び事務所建築B（日本）をPAL*による評価の意義は，異なる気候・文化・産業構造・建築法規で設計・建設された事務所建築の外壁及び開口部を含んだ全体の外皮性能を同じ評価方法で比較・検討するためである。本論で使用されているASHRAE90.1におけるSHGC値の評価は，あくまでもASHRAE90.1の基準値を満たす開口部（窓）における評価であり，外壁を含んだ外皮性能を評価するのには適しない。

（１）事務所建築A（カナダ）－バンクーバー気候区分の分析結果

図 6.3-14 は，事務所建築 A（カナダ）に透明単層ガラス，Low-E ガラス，カーテンウォールの外皮条件に東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更して，バンクーバーの気候区分で PAL*基準値（430）と比較・分析したものである。透明単層ガラスを除いて，PAL*値は水平日射遮蔽物の形状に関係なく基準値より 10.9%～18.6%大きくなった。透明単層ガラスの PAL*値は水平日射遮蔽物の形状に関係なく-18.1%小さくなった。

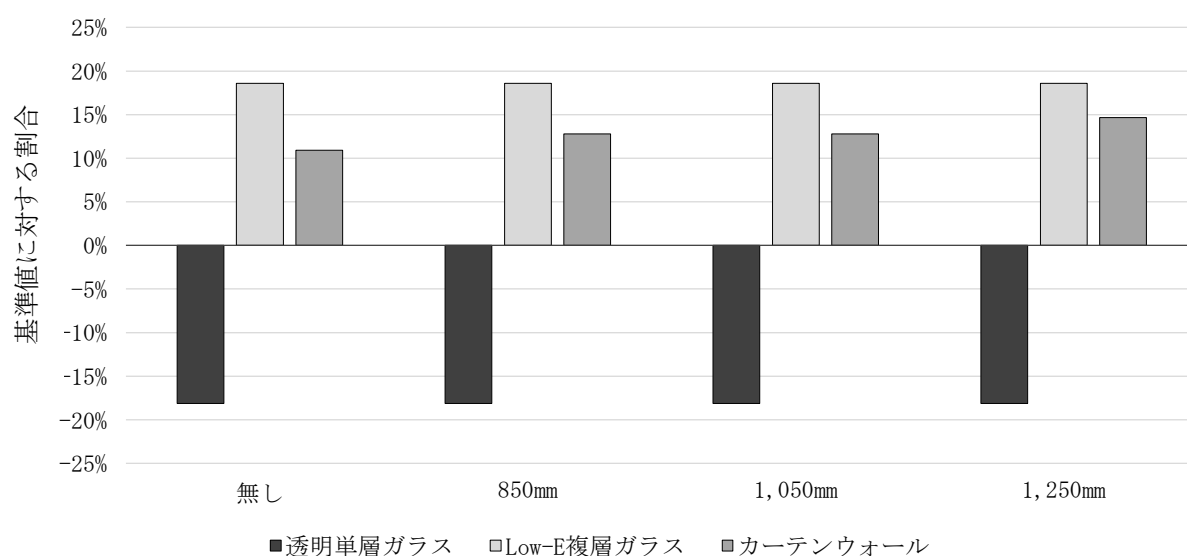


図6.3-14 事務所建築A（カナダ）における省エネルギー基準“PAL*”
(PAL*基準値：430)

（２）事務所建築A（カナダ）－東京気候区分の分析結果

図 6.3-15 は、事務所建築 A（カナダ）に透明単層ガラス，Low-E 複層ガラス，カーテンウォールの外皮条件に東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更して，東京の気候区分で PAL*基準値（450）と比較・分析したものである。Low-E 複層ガラスを除いて，PAL*値は水平日射遮蔽物の形状に関係なく基準値より 12.9%～19.1%小さくなった。しかし，Low-E 複層ガラスの PAL*値は水平日射遮蔽物の形状により PAL*値が 0.9%～2.2%に変化した。この結果より，同じ事務所建築においてバンクーバーの気候において水平日射遮蔽物の影響は PAL*値に見られないが，東京の気候区分において水平日射遮蔽物の影響が PAL*値に見られた。また，事務所建築 A（カナダ）を東京に建設するにあたり Low-E 複層ガラスの使用が効果的であることが分かる。

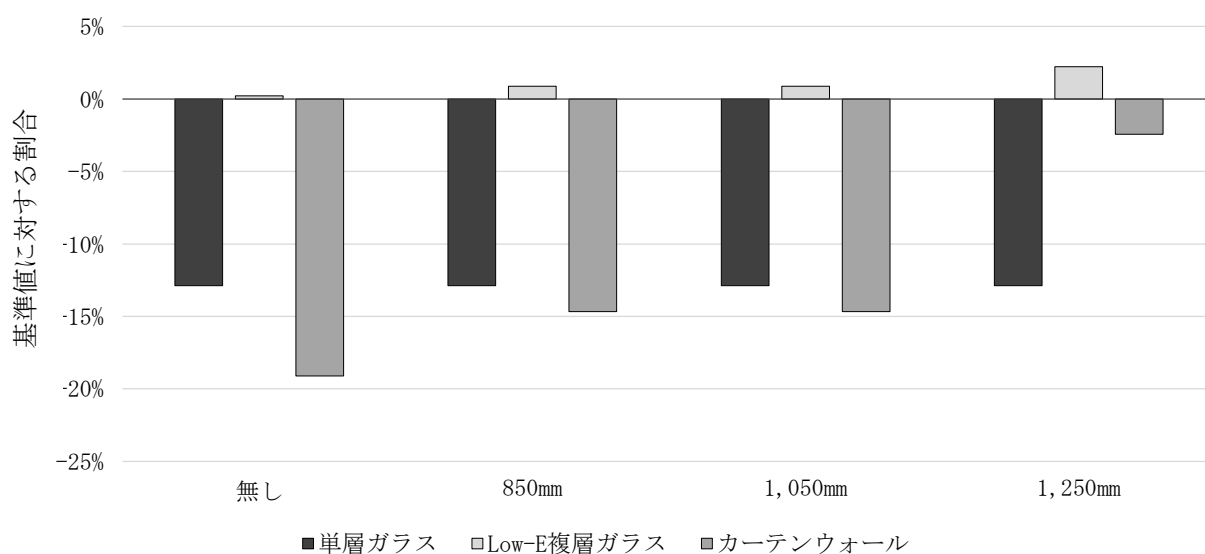


図6.3-15 事務所建築A（カナダ）における省エネルギー基準“PAL*”
(PAL*基準値：450)

(3) 事務所建築B（日本）－バンクーバー気候区分の分析結果

図 6.3-16 は、事務所建築 B（日本）に透明単層ガラス，Low-E 複層ガラス，カーテンウォールの外皮条件に東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更して，バンクーバーの気候区分で PAL*基準値（430）と比較・分析したものである。すべての外皮状態で PAL*値は，水平日射遮蔽物の形状に関係なく基準値より 18.6%～25.1%大きくなった。この結果より，バンクーバーの気候区分において水平日射遮蔽物の形状に関係なく PAL*値に影響を与えないことが分かる。また，バンクーバーの気候区分において事務所建築 B（日本）に透明単層ガラスを使用したときに PAL*値が基準値を満たしたが，事務所建築 A（カナダ）に透明単層ガラスを使用したときに PAL*値が基準値を満たさなかった。これは，事務所建築 B（日本）における窓比率が事務所建築 A（カナダ）と比較して約 12.2%小さいことが大きな要因と考察できる。

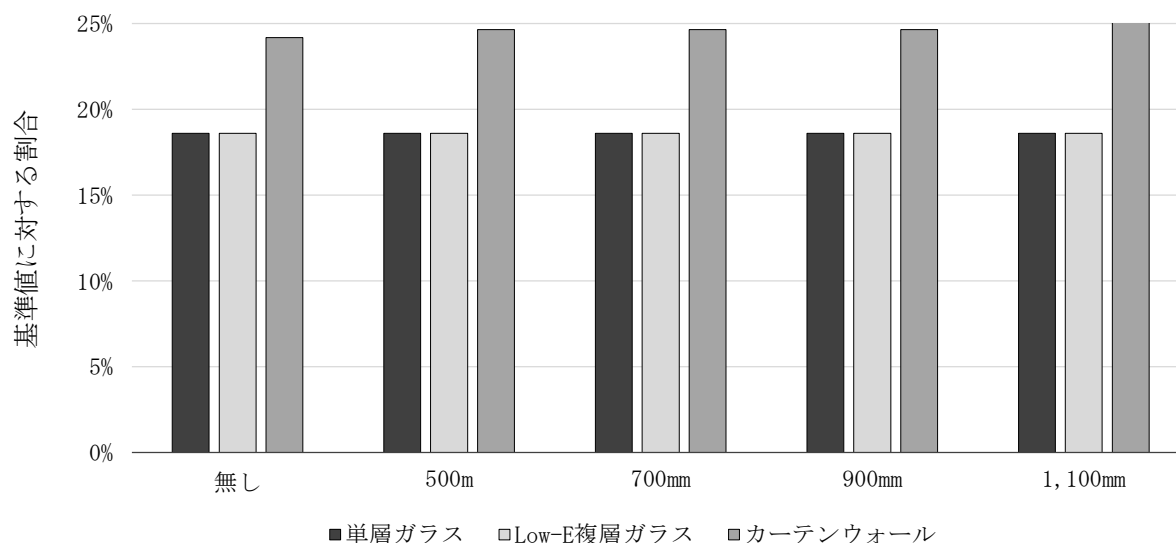


図6.3-16 事務所建築B（日本）における省エネルギー基準“PAL*”
(PAL*基準値：430)

（４）事務所建築B（日本）－東京気候区分の分析結果

図 6.3-17 は、事務所建築 B（日本）に透明単層ガラス，Low-E 複層ガラス，カーテンウォールの外皮条件に東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更して，東京の気候区分で PAL* 基準値（450）と比較・分析したものである。すべての外皮状態で PAL* 値は，水平日射遮蔽物の形状に関係なく基準値より 0.2%～13.8%大きくなった。また，バンクーバーの気候区分の結果との大きな相違は，東京の気候区分において水平日射遮蔽物が PAL* 値の変化に影響を与えていることが分かる。特に，事務所建築 B（日本）に Low-E 複層ガラスを使用したときに水平日射遮蔽物幅を設置すると PAL* 値の基準値を約 2.7%増加させた。また，事務所建築 A（カナダ）にカーテンウォールの外皮条件では基準値を満たさなかったが，事務所建築 B（日本）においてすべての外皮条件で基準値を満たした。

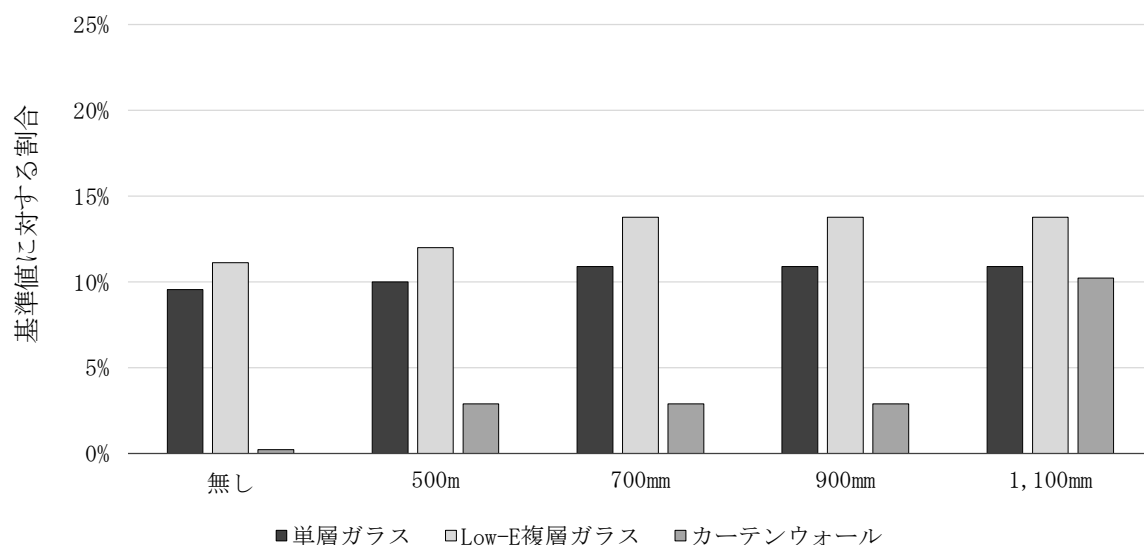


図6.3-17 事務所建築B（日本）における省エネルギー基準“PAL*”
(PAL*基準値：450)

6.4 建築物の外皮性能向上に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量

本節では、前節の6.3でカナダ・日本の仮想事務所建築A（カナダ）、事務所建築（日本）で比較・分析した透明単層ガラス、Low-Eガラス、カーテンウォールによるガラス使用量及び、水平日射遮蔽物使用量に本論文で求めたエネルギー消費量原単位、CO₂排出量原単位を乗じて、仮想的に外皮性能向上に伴うエネルギー消費量、CO₂排出量を算出する。これは、ASHRAE90.1, 2010、及び省エネルギー基準“PAL*”の基準値を満たす様々な外皮性能向上に伴う建設工事時に投入される材料のエネルギー消費量、CO₂排出量を把握するためである。

6.4.1 事務所建築A（カナダ）、事務所建築B（日本）の外皮性能向上に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量

事務所建築A（カナダ）、事務所建築B（日本）の透明単層ガラス、Low-Eガラス、カーテンウォールを使用した外皮性能向上に伴う強化ガラスのエネルギー消費量を比較・分析する。図6.4-1に示すように、事務所建築A（カナダ）、事務所建築B（日本）におけるカーテンウォールを使用した外皮性能向上に伴うエネルギー消費量は、透明単層ガラスに伴うエネルギー消費量の約4倍、Low-Eガラスに伴うエネルギー消費量の約2.4倍となった。事務所建築A（カナダ）と事務所建築B（日本）におけるエネルギー消費量の差は、窓面積の差と比べると約2.1倍となっている。この結果より、事務所建築A（カナダ）における外皮性能向上に伴う強化ガラスのエネルギー消費量効率は、事務所建築B（日本）と比較すると約2.6倍であることが考察できる。

事務所建築A（カナダ）、事務所建築B（日本）の透明単層ガラス、Low-Eガラス、カーテンウォールを使用した外皮性能向上に伴う強化ガラスのCO₂消費量を比較・分析する。図6.4-2に示すように、事務所建築A（カナダ）、事務所建築B（日本）におけるカーテンウォールを使用した外皮性能向上に伴うCO₂消費量は、透明単層ガラスに伴うエネルギー消費量の約4倍、Low-Eガラスに伴うCO₂消費量の約2.4倍となった。事務所建築A（カナダ）と事務所建築B（日本）におけるCO₂消費量の差は、窓面積の差と比べると約1.4倍となっている。

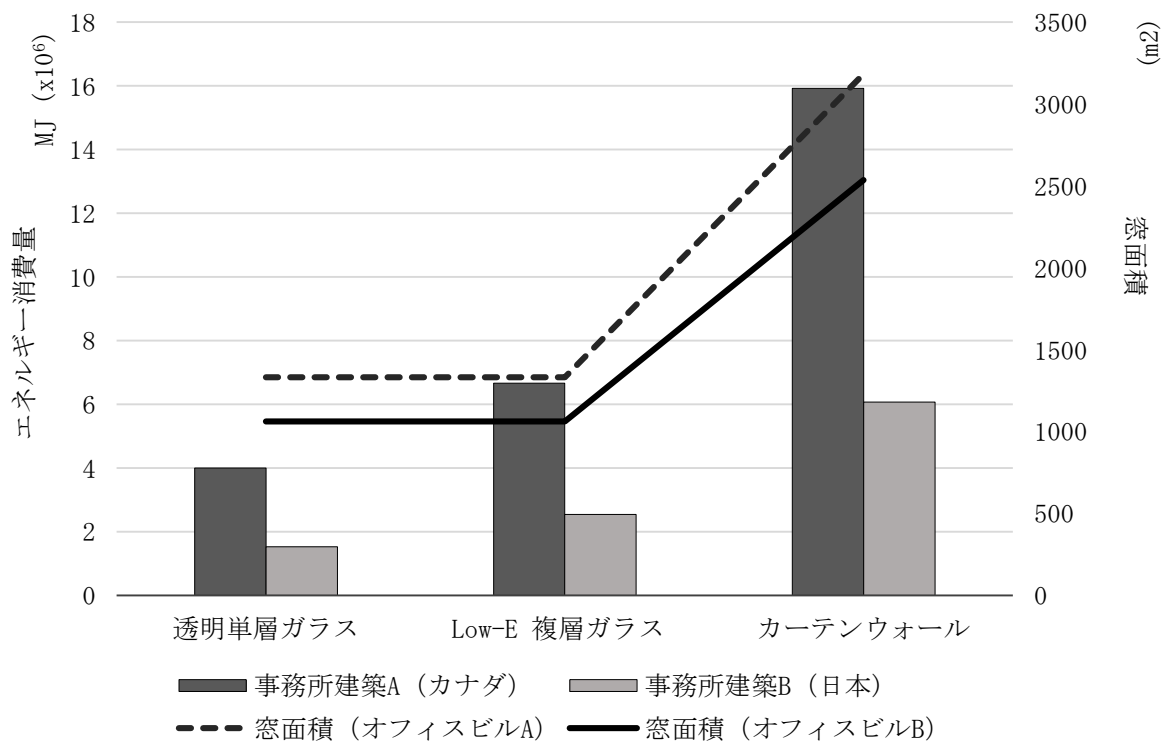


図6.4-1 事務所建築A (カナダ)・事務所建築B (日本)における透明単層ガラス、Low-Eガラス、カーテンウォーを使用した建設に伴うエネルギー消費量

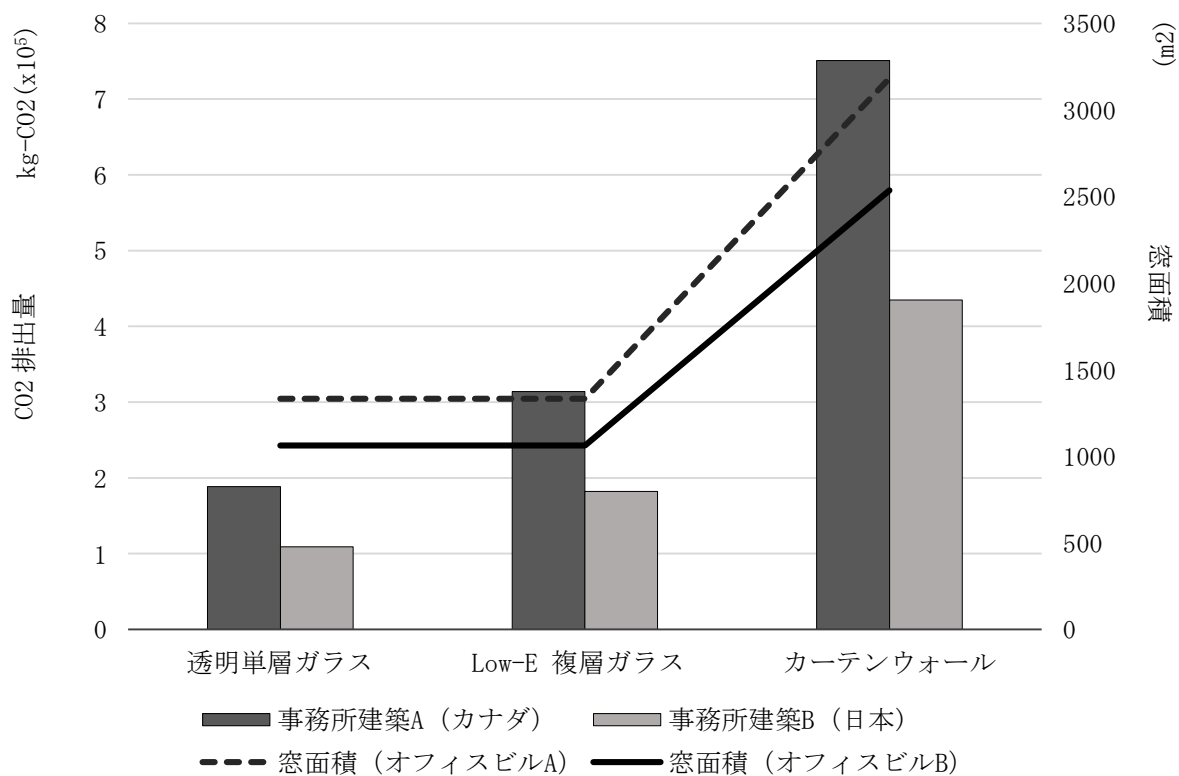


図6.4-2 事務所建築A (カナダ)・事務所建築B (日本)における透明単層ガラス、Low-Eガラス、カーテンウォーを使用した建設に伴うCO₂消費量

6.4.2 事務所建築A（カナダ）の水平日射遮蔽物設置に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量とSHGC値

水平日射遮蔽物設置に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量の分析にあたり、水平日射遮蔽物の代表的な建設材料として幅広く使われている、アルミニウム及び、強化ガラスを使用した。図6.4-3、図6.4-4に事務所建築A（カナダ）の東・南側で使用されたアルミニウム及び、強化ガラスにおける水平日射遮蔽物建設に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量を示す。

図6.4-3が示すように、それぞれのケースにおいてアルミニウムを使用した水平日射遮蔽物のエネルギー消費量は、強化ガラスを使用した水平日射遮蔽物の約4.5倍となった。また、CO₂排出量の差は約1.8倍となった。この分析より、強化ガラスの水平日射遮蔽物はアルミニウムを使用した水平日射遮蔽物より、エネルギー消費量・CO₂排出量において有効である。

次に、SHGC数値と水平日射遮蔽物建設に伴うアルミニウム及び、強化ガラスにおけるエネルギー消費量・CO₂排出量を比較する。SHGC数値はケース2の水平日射遮蔽物(850mm幅)を超えると小さくなるが、アルミニウム及び、強化ガラスにおけるエネルギー消費量・CO₂排出量は幅がの増加とともに上昇していく。このことより、SHGC数値を効果的に減少させ、最も効率の良い水平日射遮蔽物建設に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量関係はケース2の水平日射遮蔽物(850mm幅)と分析できる。

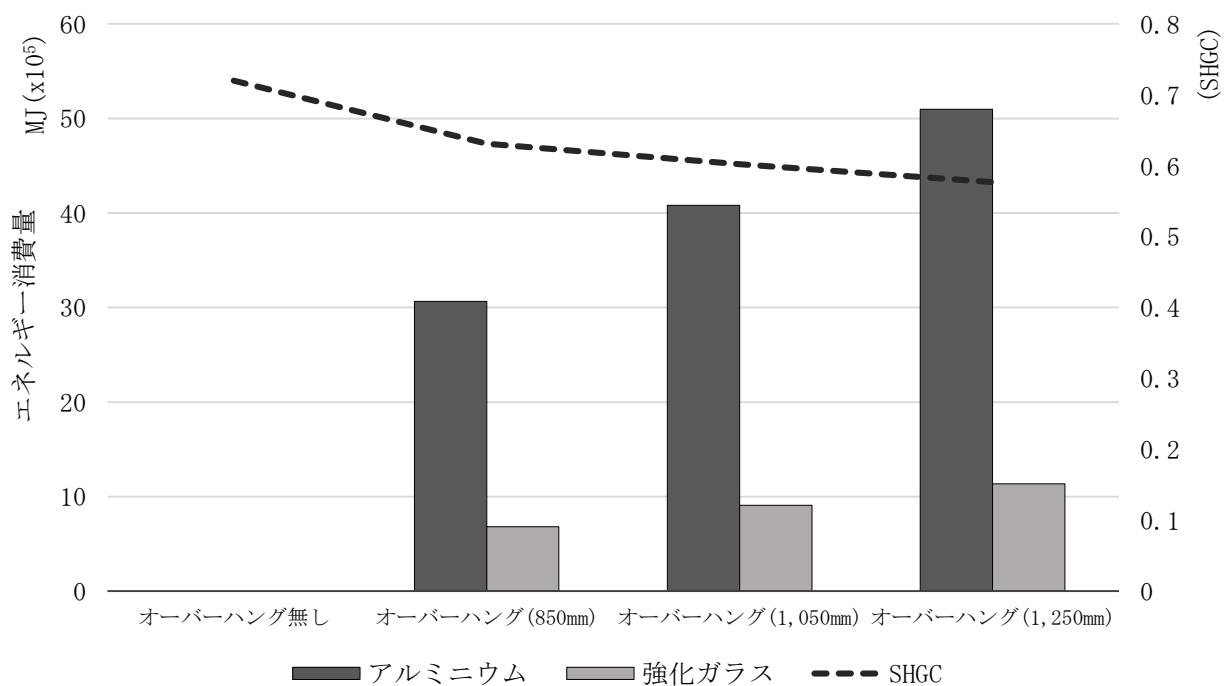


図6.4-3 事務所建築A（カナダ）における水平日射遮蔽物建設に伴うエネルギー消費量とSHGC値

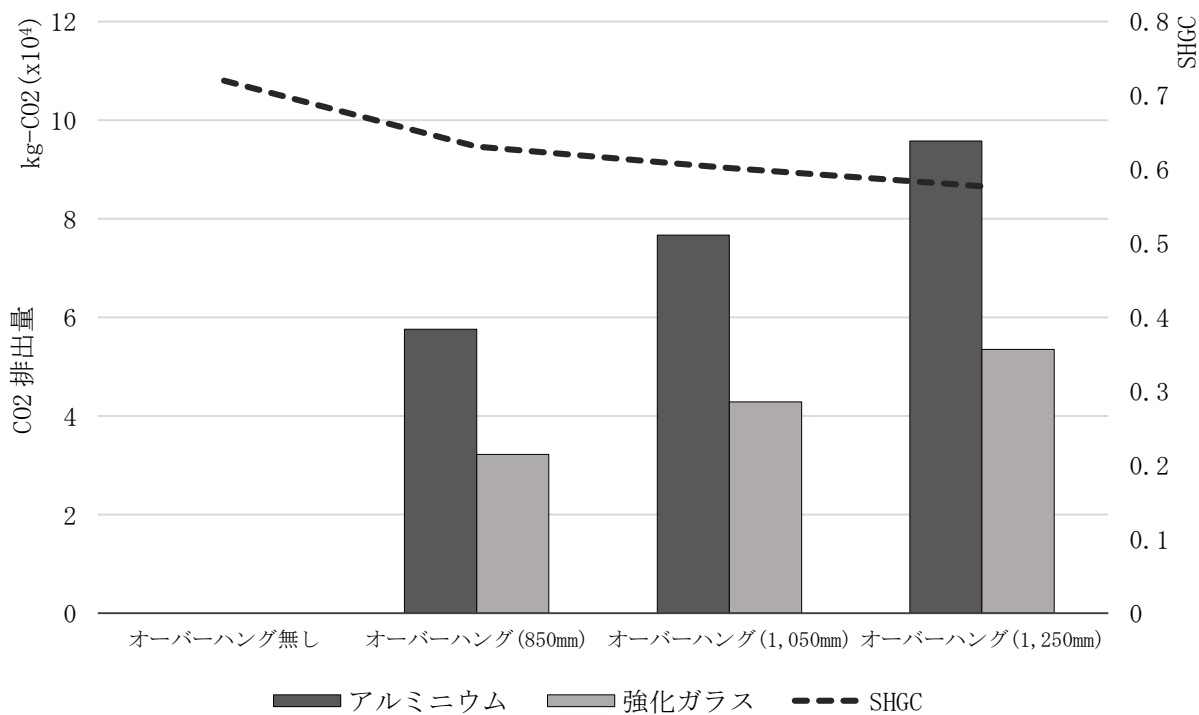


図6.4-4 事務所建築A（カナダ）における水平日射遮蔽物建設に伴うCO2排出量とSHGC値

6.4.3 事務所建築B（日本）の水平日射遮蔽物設置に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量とPAL*

本論文で使用した日本のモデル事務所建築の多くは、密集地域に建設されていることが多い。このことより、水平日射遮蔽物を使用できる窓は道路に面した外壁のみとなる。よって、図6.4-5、図6.4-6に事務所建築B（日本）の東側のみの水平日射遮蔽物で使用されたアルミニウム及び、強化ガラスにおける水平日射遮蔽物建設に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量を示す。

図6.4-4が示すように、それぞれのケースにおいてアルミニウムを使用した水平日射遮蔽物のエネルギー消費量は、強化ガラスを使用した水平日射遮蔽物の約1.6倍となった。また、図6.4-4が示すようにCO₂排出量の差は同様に約1.6倍となった。この分析より、強化ガラスの水平日射遮蔽物はアルミニウムを使用した水平日射遮蔽物より、エネルギー消費量・CO₂排出量において有効であることが分かる。

PAL*数値と水平日射遮蔽物建設に伴うアルミニウム及び、強化ガラスにおけるエネルギー消費量・CO₂排出量を比較する。PAL*数値の差は、ケース2とケース3の間で最も大きくなり、ケース3の水平日射遮蔽物(700mm幅)を超えると一定になる。一方、アルミニウム及び、強化ガラスにおけるエネルギー消費量・CO₂排出量は幅がの増加とともに上昇していく。このことより、PAL*数値を効果的に減少させ、最も効率の良い水平日射遮蔽物建設に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量関係はケース3の水平日射遮蔽物(700mm幅)と分析できる。

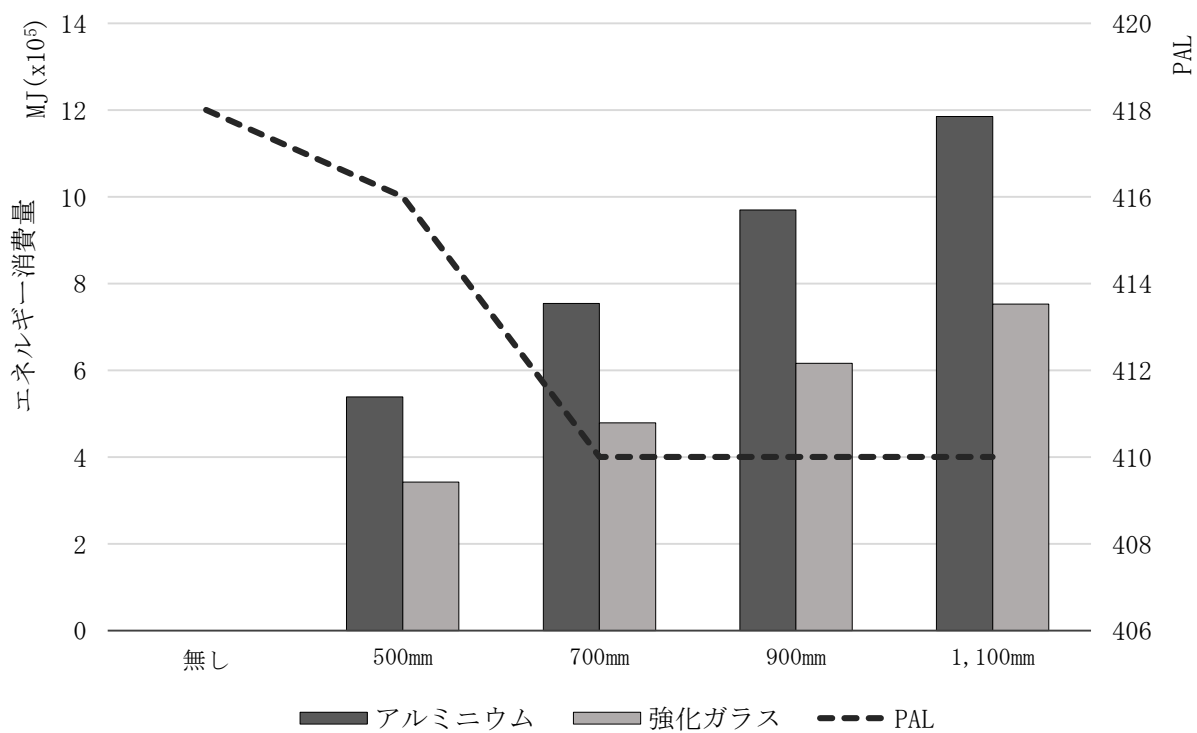


図6.4-3 事務所建築B（日本）における水平日射遮蔽物建設に伴うエネルギー消費量とPAL*

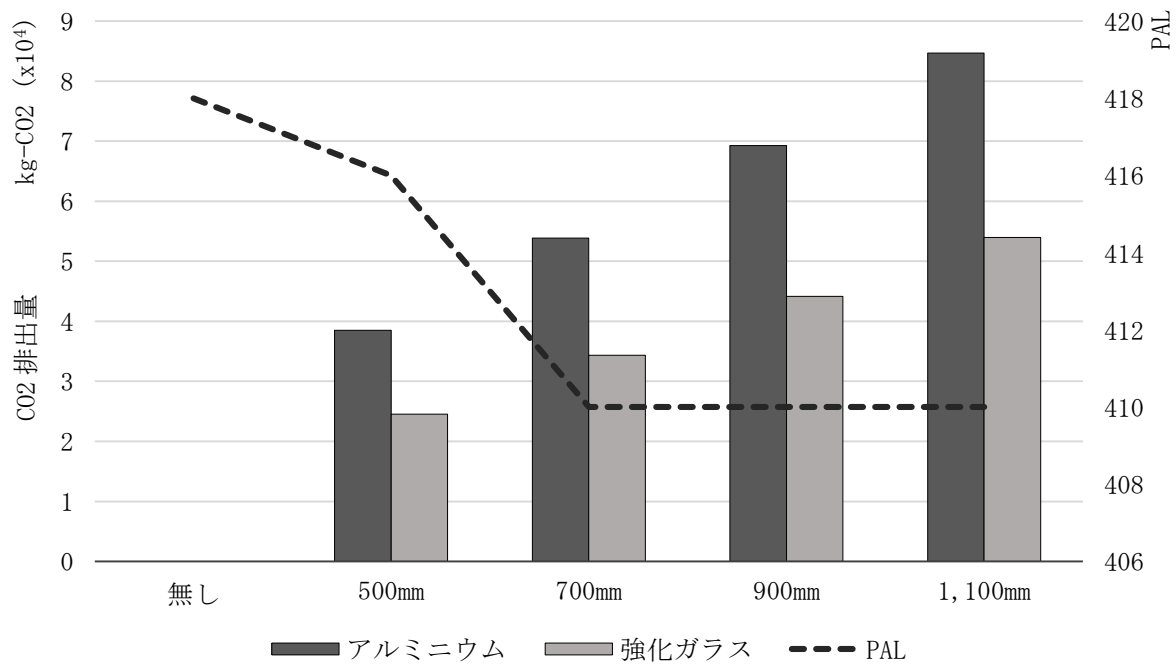


図6.4-4 事務所建築B（日本）における水平日射遮蔽物建設に伴うCO2排出量とPAL*値

6.5 建築物の外皮性能向上における運用エネルギー消費量

前節の6.4でカナダ・日本の仮想事務所建築A（カナダ）、事務所建築B（日本）で比較・分析した透明単層ガラス、Low-E複層ガラス、カーテンウォールによる外皮性能向上に伴うエネルギー消費量、CO₂排出量を算出した。本節では、これらの外皮性能技術を使用したときの、外皮性能向上における運用エネルギー消費量を算出する。

6.5.1 分析方法

事務所建築A（カナダ）、事務所建築B（日本）の外皮性能向上における運用エネルギー消費量はEnergyPlusによって分析する。EnergyPlusはDOE（アメリカエネルギー省）で開発され、様々な建物の冷房・暖房、照明、換気、空調設備（HVAC）などのエネルギー消費量のシミュレーションが可能である。また、世界中で最も利用されているLCAシミュレーションソフトウェアであるため、今回のカナダ・日本における事務所建築研究のような国際比較に適したソフトウェアである。表6-5.1に本研究におけるEnergyPlus入力データを示す。

表6.5-1 EnergyPlus入力データ

	事務所建築A（カナダ）	事務所建築B（日本）
所在地	バンクーバー	東京
サンプル面積	140m ²	140m ²
気候区域	5 B	3 B
測定期間	1/1～12/31(1年間)	1/1～12/31(1年間)
人数	0.056（人/m ² ）	0.056（人/m ² ）
勤務時間	6:00AM～10:00PM（週休1日）	6:00AM～10:00PM（週休1日）
空調設備	パッケージ型空調機 可変風量方式	パッケージ型空調機 可変風量方式
室内照明電力	10.55（W/m ² ） 自動消灯設定照度 500Lux 蛍光灯	10.55（W/m ² ） 自動消灯設定照度 500Lux 蛍光灯
設備電力	7.64（W/m ² ）	7.64（W/m ² ）
暖房設定温度	勤務時:21.1C 勤務時外:12.8C	勤務時:21.1C 勤務時外:12.8C
冷房設定温度	勤務時:23.9C 勤務時外:30.0C	勤務時:23.9C 勤務時外:30.0C

ステップ1

モデル事務所建築“事務所建築A（カナダ）”，“事務所建築B（日本）”に関する建築概要をシミュレーションソフトウェアに入力する（節6.3.1参照）。EnergyPlusによるエネルギー消費量の分析は，照明エネルギー，冷房エネルギー，暖房エネルギーの消費量について分析する。

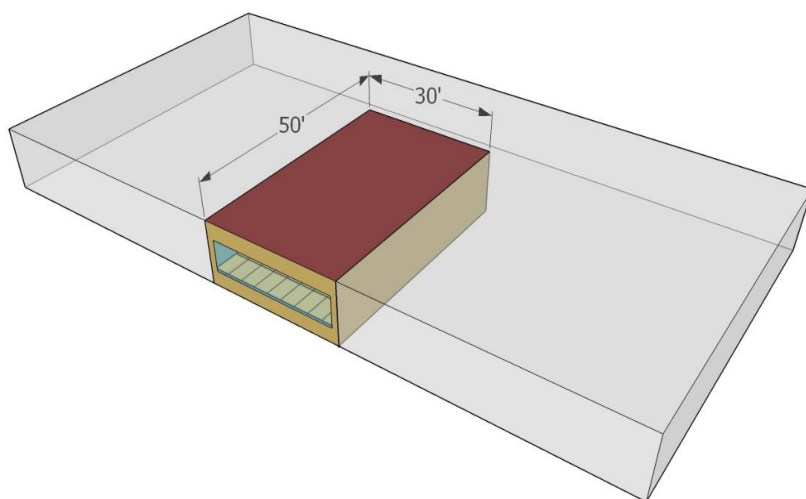


図 6.5-1 EnergyPlus サンプルエリア

（資料：EnergyPlus）

ステップ2

本研究の目的は事務所建築全体のエネルギー消費量の分析ではなく，第5章で分析した様々な幅の水平日射遮蔽物における運用エネルギー消費量の分析及び比較である。ASHRAEによると，南側における日照影響距離は窓側から約10ft（3.05m）とされている。そのため，図6.5.1に示すように，運用エネルギー消費量のシミュレーションにあたり“事務所建築A（カナダ）”，“事務所建築B（日本）”のサンプルエリア（50' x30'）を設定した。また，照明のディミング制御装置は机上の照度500(lux)に設定されており，500(lux)を超えると照明は消える。

ステップ3

“事務所建築A（カナダ）”，“事務所建築B（日本）”の運用エネルギー消費量の分析にあたり，サンプルエリアを1台のパッケージ型空調機（室内機と屋外機が1台）の可変風量方式と設定する。

6.5.2 事務所建築A（カナダ）の分析結果

図6.5-2に示すように、事務所建築A（カナダ）の外皮性能向上における照明エネルギー、冷房エネルギー、暖房エネルギーの消費量の分析結果を下記に示す。Low-E複層ガラスを使用した外皮性能向上における照明エネルギーの消費量は、透明単層ガラスに比べて約37%大きい。Low-E複層ガラスの日射透過率（0.68）が透明ガラスより低いため、照明エネルギーの消費量が増加したと考察できる。また、カーテンウォールにおける照明エネルギーの消費量がLow-E複層ガラスの照明エネルギーの消費量より14%小さいのは、カーテンウォールにおけるガラス面積が大きいため昼光利用が効果的であるからである。暖房エネルギー消費量は、Low-E複層ガラス使用時に約2%透明単層ガラスに比べて小さい。しかし、暖房エネルギー消費量はカーテンウォール使用時に透明単層ガラスに比べて約13%大きくなった。ガラス面積が増加したため、Low-Eガラスを使用しても暖房エネルギー消費量は増加したと考察できる。冷房エネルギー消費量は、Low-E複層ガラス使用時に約22%、カーテンウォール使用時に約48%透明単層ガラスに比べて大きい。Low-E複層ガラス、カーテンウォールにおける室内熱保有率の増加に伴い冷房エネルギー消費量が大きくなった。

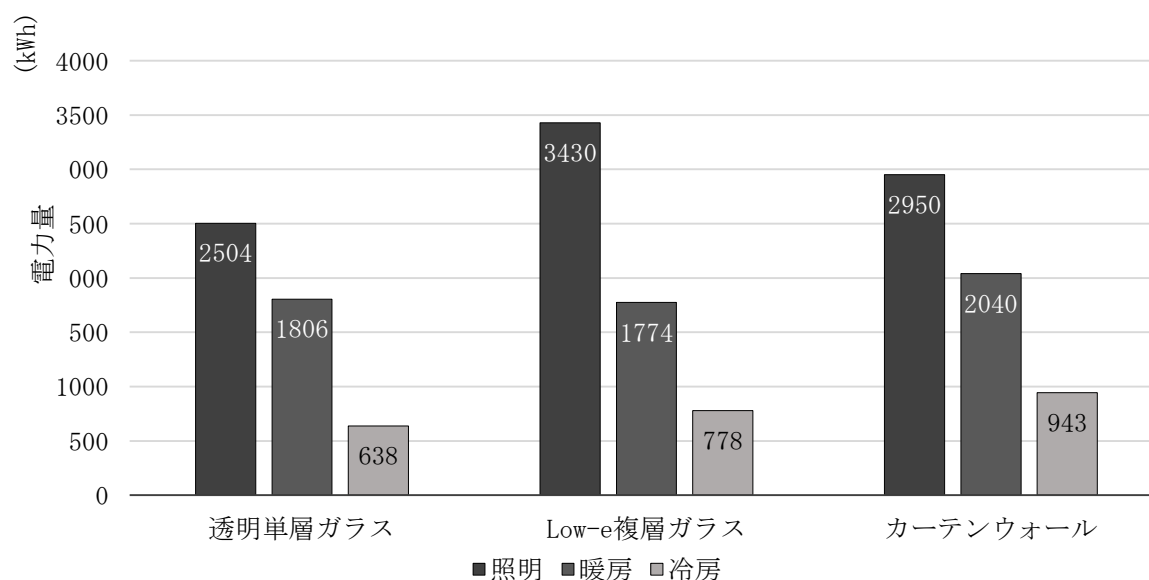


図6.5-2 事務所建築A（カナダ）における外皮向上時における運用エネルギー消費量

図6.5-3に、事務所建築A（カナダ）に3種類の外皮性能にSHGC数値を効果的に減少させ、最も効率の良い850mmの水平日射遮蔽物を設置したときの照明エネルギー、冷房エネルギー、暖房エネルギーの消費量の分析結果を下記に示す。水平日射遮蔽物設置に伴い透明単層ガラス及びLow-E複層ガラスの外皮性能における照明エネルギーは水平日射遮蔽物無しと比較して約8～9%増加した。暖房エネルギーの消費量を考察してみると、Low-E複層ガラスにおける暖房エネルギーの消費量は変化なし、カーテンウォール使用時に約1.5%減少した。冷房エネルギー消費量は、照明エネルギーと対照的に、すべての外皮性能で約3%から7%水平日射遮蔽物無しと比較して減少した。

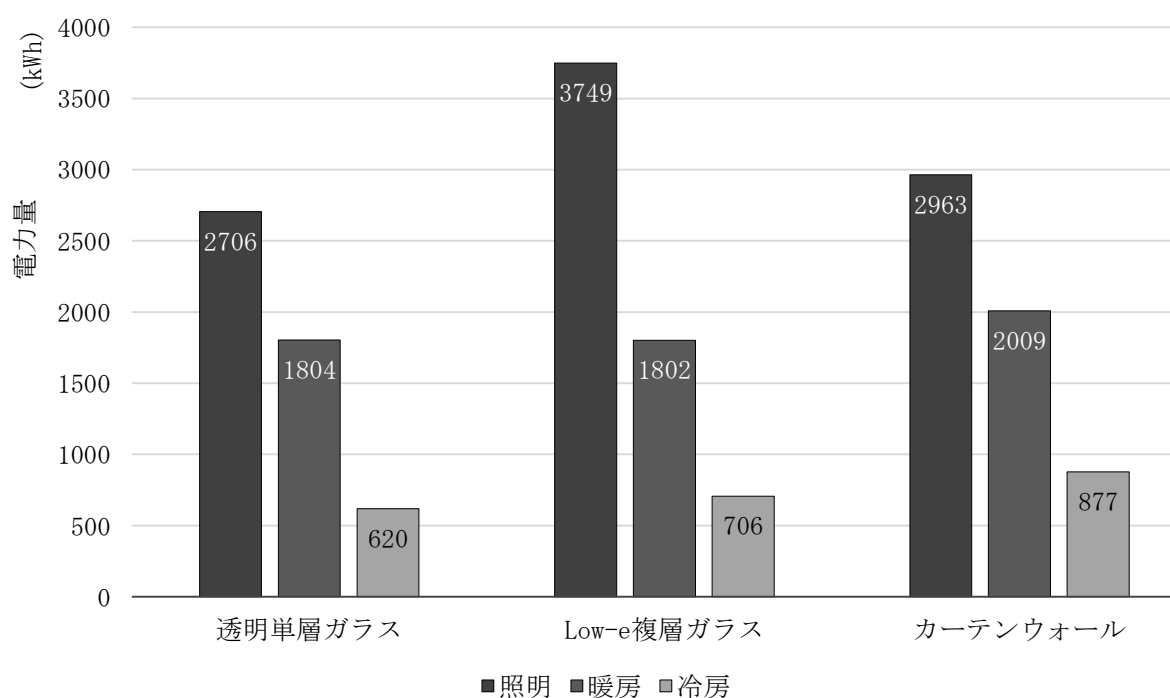


図6.5-3 事務所建築A（カナダ）における水平日射遮蔽物設置時における運用エネルギー消費量

6.5.3 事務所建築B（日本）の分析結果

図6.5-4に示すように、事務所建築B（日本）の外皮性能向上における照明エネルギー、冷房エネルギー、暖房エネルギーの消費量の分析結果を下記に示す。Low-E複層ガラスを使用した外皮性能向上における照明エネルギーの消費量は、透明単層ガラスに比べて約43%大きい。これは東京とバンクーバーの日射条件の違いが大きな影響を与えてると考える。東京はバンクーバーより南に位置し、夏季における日射角度が高いため夏季における日射侵入率はバンクーバーより低いため、照明エネルギーの消費量が増加したと考察できる。また、カーテンウォールにおける照明エネルギーの消費量が透明単層ガラスの照明エネルギーとほぼ等しくなったのは、カーテンウォールにおけるガラス面積が大きいため昼光利用が効果的であるためである。しかし、暖房エネルギー消費量はLow-E複層ガラスを使用時に約5%小さく、カーテンウォール使用時に約14%透明単層ガラスに比べて大きくなった。冷房エネルギー消費量は、Low-E複層ガラス使用時に約5%減少し、カーテンウォール使用時に約21%透明単層ガラスに比べて増加した。

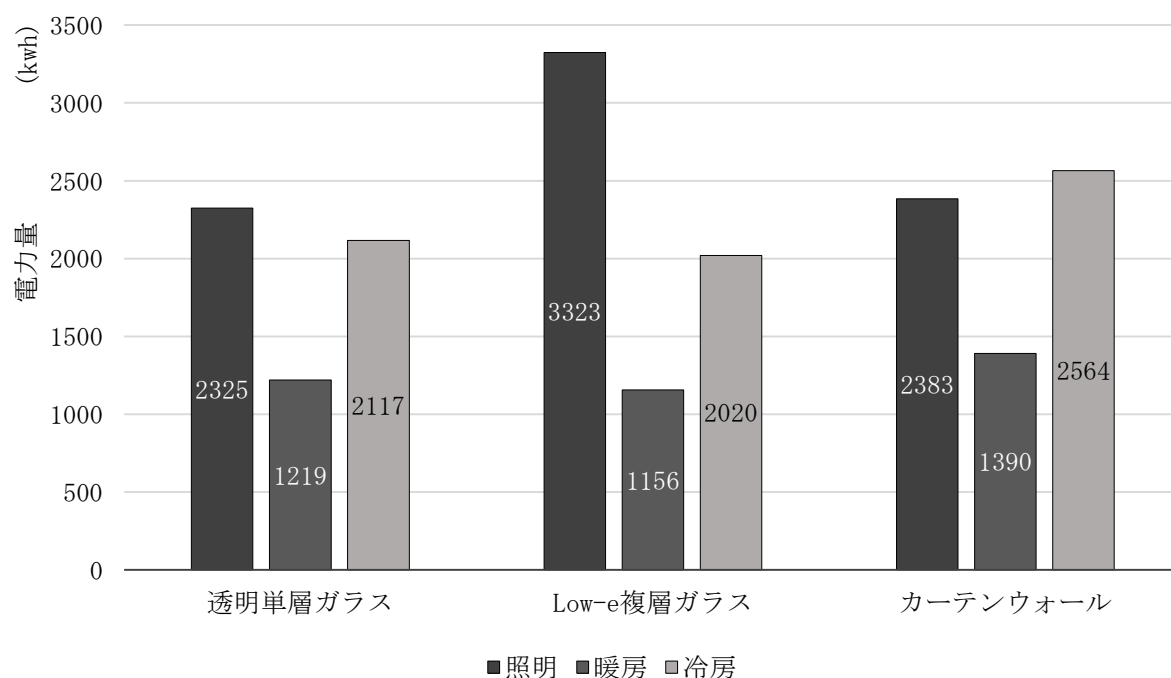


図6.5-4 事務所建築B（日本）における外皮向上時における運用エネルギー消費量

図6.5-5に、事務所建築B（日本）に3種類の外皮性能にPAL*数値を効果的に減少させ、最も効率の良い700mmの水平日射遮蔽物を設置したときの照明エネルギー、冷房エネルギー、暖房エネルギーの消費量の分析結果を下記に示す。水平日射遮蔽物設置により、すべての外皮状態で照明エネルギーは約4%～11%増加した。暖房エネルギーの消費量を考察してみると、透明単層ガラス、Low-E複層ガラスにおける暖房エネルギーの消費量は約3%増加し、カーテンウォール使用時には変化が見られなかった。冷房エネルギー消費量は、事務所建築A（カナダ）と同様にすべての外皮性能で約3%から8%減少した。水平日射遮蔽物は冷房エネルギー消費量削減に効果的であることが考察できる。

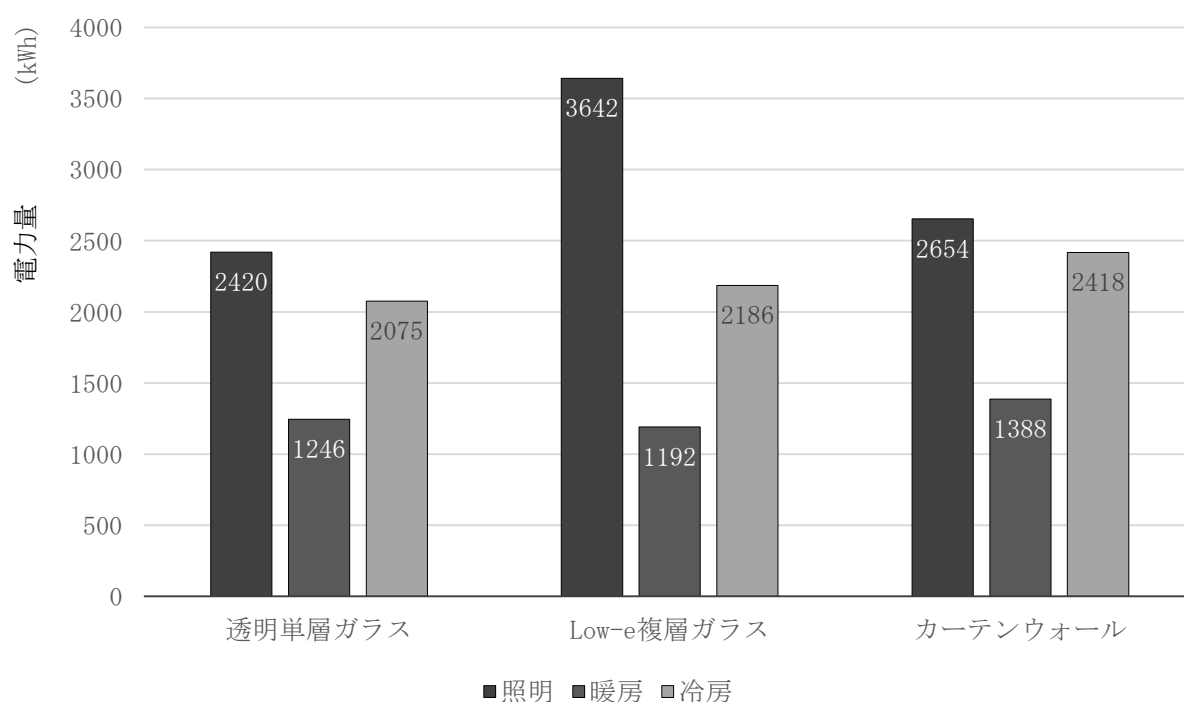


図6.5-5 事務所建築B（日本）における水平日射遮蔽物設置時における運用エネルギー消費量

6.6 建築物の外皮性能向上における建設及び運用エネルギー消費量の分析結果

6.6.1 事務所建築A（カナダ）の外皮性能向上における建設及び運用エネルギー消費量の分析結果

図6.6-1に事務所建築A（カナダ）における外皮性能向上における建設及び運用エネルギー消費量を示す。透明単層ガラス，Low-E複層ガラス，カーテンウォールを使用したときの建設エネルギー消費量は，運用エネルギー消費量の約3.7倍，5.2倍，12.5倍となった。また，水平日射遮蔽物設置時における建設エネルギー消費量は，窓のみの外皮性能向上と比較してそれぞれ2倍，1.6倍，1.3倍となった。大きな原因のひとつは，水平日射遮蔽物で使用されているアルミニウムのエネルギー消費量原単位が大きいことがあげられる。また，運用エネルギー消費量の比率は水平日射遮蔽物無しの状態とほぼ等しくなった。このことより，事務所建築A（カナダ）において水平日射遮蔽物設置における建設及び運用エネルギー消費量考察すると，運用エネルギー消費量の削減率に比べて，建設エネルギー消費量の増加が大きいため水平日射遮蔽物設置による外皮性能の向上は効果的とはいえない。

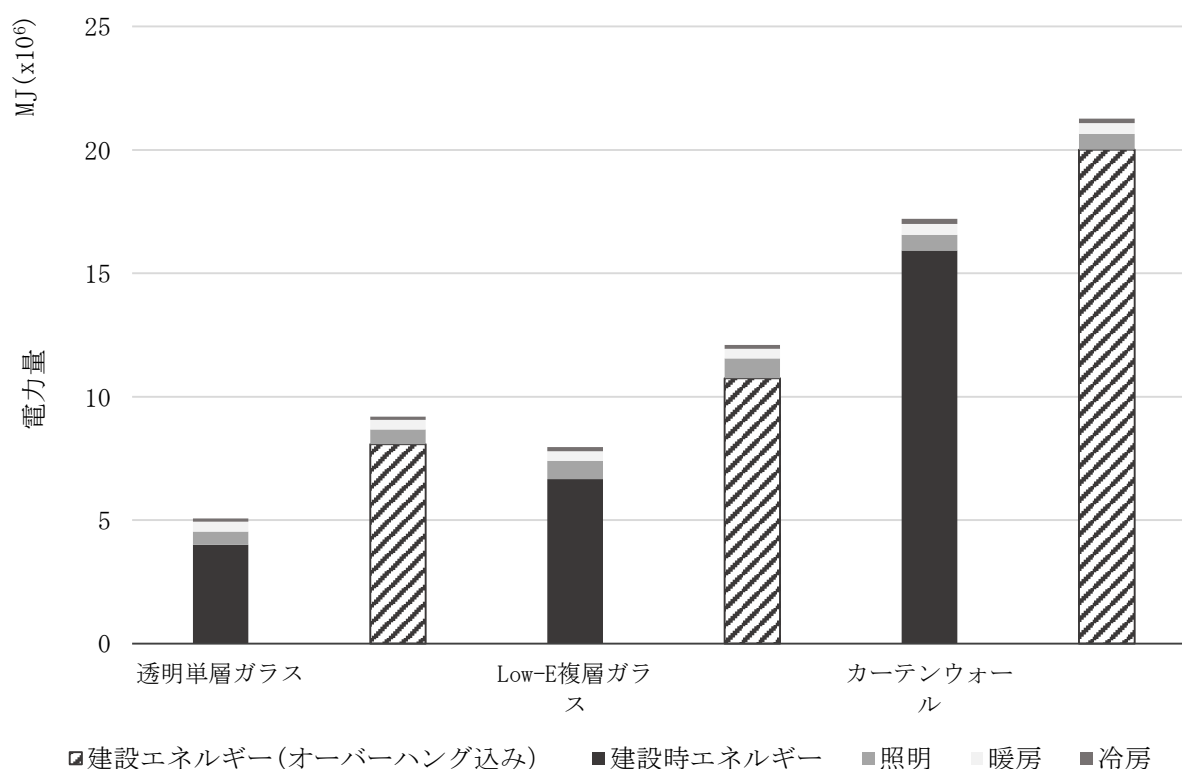


図6.6-1 事務所建築A（カナダ）における建設及び運用エネルギー消費量

6. 6. 2 事務所建築B（日本）の外皮性能向上における建設及び運用エネルギー消費量の分析結果

図6. 6-2に事務所建築B（日本）における外皮性能向上における建設及び運用エネルギー消費量を示す。透明単層ガラス，Low-E複層ガラス，カーテンウォールを使用したときの建設エネルギー消費量は，運用エネルギー消費量の約1.1倍，1.9倍，3.7倍となった。また，水平日射遮蔽物設置時における建設エネルギー消費量は，窓のみの外皮性能向上と比較してそれぞれ1.6倍，1.4倍，1.2倍となった。事務所建築B（日本）における水平日射遮蔽物設置時の建設エネルギーの差が事務所建築A（カナダ）より小さい原因のひとつは，水平日射遮蔽物で使用されているアルミニウムのエネルギー消費量原単位が小さいことがあげられる。また，水平日射遮蔽物設置時における事務所建築B（日本）の運用エネルギー消費量の削減は，事務所建築A（カナダ）に比らべて顕著に現れている。特に，東京の気候における冷房エネルギー消費量の削減に効果的であることが分かる。結論として，外皮性能向上による建設及び運用エネルギー消費量を比較してみると，水平日射遮蔽物の設置にかかわらず事務所建築B（日本）が事務所建築A（カナダ）と比較して約2倍ほど建設及び運用エネルギー消費量の効率が良いことが考察できる。

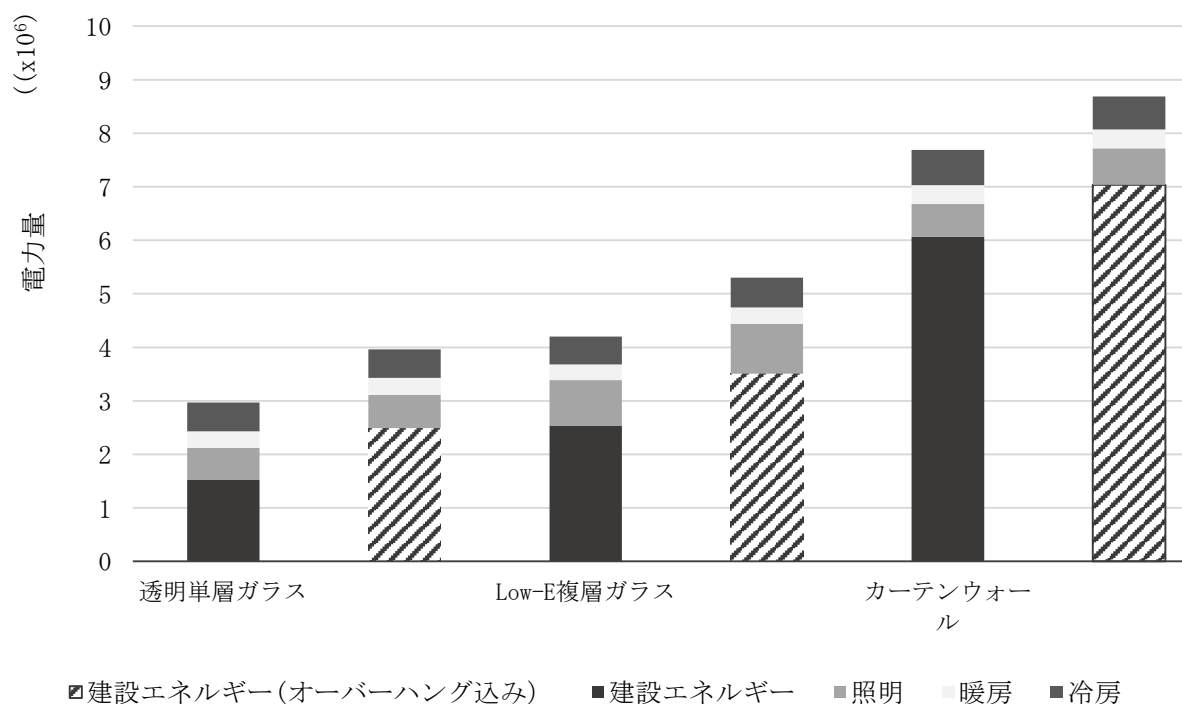


図6. 6-2 事務所建築B（日本）における建設及び運用エネルギー消費量

6.7 建築物の外皮性能向上に伴う建設材料金額と運用電力使用料金

本節では、前々節6.4でカナダ・日本の仮想事務所建築A（カナダ），事務所建築B（日本）で比較・分析したASHRAE90.1, 2010，及び省エネルギー基準“PAL*”の基準値を満たす様々な外皮性能向上に伴う建設工事時に投入される材料のエネルギー消費量・CO₂排出量，及び前節の6.5で比較・分析した水平日射遮蔽物使用に伴う照明エネルギー，冷房エネルギー，暖房エネルギーの分析結果を基に，水平日射遮蔽物の建設に伴う材料金額と運用電力使用料金（照明エネルギー，冷房エネルギー，暖房エネルギー）の比較・分析を1年，3年，5年，10年の期間において行う。使用される水平日射遮蔽物は，850mm（事務所建築A）及び700mm（事務所建築B）をそれぞれ透明単層ガラス，Low-E複層ガラス，カーテンウォールに設置して比較・分析する。

6.7.1 分析方法

事務所建築A（カナダ）における水平日射遮蔽物に伴う建設工事額と運用電力使用料金の分析は，以下の条件で分析される。

- 水平日射遮蔽物－幅850mm

前々節“6.4.2 事務所建築A（カナダ）の水平日射遮蔽物設置時におけるエネルギー消費量・CO₂排出量とSHGC”より水平日射遮蔽物（850mm）が水平日射遮蔽物に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量とSHGC基準値向上における最も効果的な組み合わせである。

- 水平日射遮蔽物－建設材料金額

前章“5.2 モデル事務所建築概要”より一般的に使用されているアルミニウム製水平日射遮蔽物の建設材料金額を見積書から分析する。

- 水平日射遮蔽物－運用電力使用料金

事務所建築A（カナダ）の電力使用料金はBC HydroのBusiness Rates Pricesにおける Large General Service Conservation Rate による Demand Charge=CN\$0.0486 per kWhを使用した（文献9）。

（CN\$1は2004年におけるレート=85.35円とする）

水平日射遮蔽物使用における運用電力使用料金は，照明エネルギー，暖房エネルギー，冷房エネルギーにおける電力料金を分析し，以下に示す水平日射遮蔽物非設置時の運用電力使用料金との差を図に示す（文献10）。

水平日射遮蔽物非設置時の運用電力使用料金

透明単層ガラス

- 1) 照明エネルギー（電力使用料金）＝4,778,374.26 円
- 2) 暖房エネルギー（電力使用料金）＝3,464,482.14 円
- 3) 冷房エネルギー（電力使用料金）＝1,265,877.56 円

Low-E 複層ガラス

- 1) 照明エネルギー（電力使用料金）＝6,521,446.05 円
- 2) 暖房エネルギー（電力使用料金）＝3,404,246.40 円
- 3) 冷房エネルギー（電力使用料金）＝1,529,408.93 円

カーテンウォール

- 1) 照明エネルギー（電力使用料金）＝5,617,909.92 円
- 2) 暖房エネルギー（電力使用料金）＝3,904,956.01 円
- 3) 冷房エネルギー（電力使用料金）＝1,839,999.47 円

- 外皮性能一窓

水平日射遮蔽物（850mm）を透明単層ガラス，Low-E複層ガラス，カーテンウォールそれぞれに設置して比較・分析する。

- 運用エネルギー消費量

前節“6.5 外皮性能向上における運用エネルギー消費量”で分析・評価された照明エネルギー，冷房エネルギー，暖房エネルギー消費量の1年，3年，5年，10年の期間における運用電力使用料金を分析する。

事務所建築B（日本）における水平日射遮蔽物に伴う建設工事額と運用電力使用料金の分析は，以下の条件で分析される。

- 水平日射遮蔽物一輻700mm

前々節“6.4.3 事務所建築B（日本）の水平日射遮蔽物設置時におけるエネルギー消費量・CO₂排出量とPAL*”より水平日射遮蔽物（700mm）が水平日射遮蔽物に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量とPAL*基準値向上における最も効果的な組み合わせである。

- 水平日射遮蔽物一建設材料金額

前章“5.2 モデル事務所建築概要”より一般的に使用されているアルミニウム製水平日射遮蔽物の建設材料金額を見積書から分析する。

- 水平日射遮蔽物－電力使用料金

事務所建築B（日本）の電力使用料金は，東京電力における業務用電力による電力料金の夏季・その他季の平均による料金 1 kWh=16円28銭を使用した。

水平日射遮蔽物使用における運用電力使用料金は，照明エネルギー，暖房エネルギー，冷房エネルギーにおける電力料金を分析し，以下に示す水平日射遮蔽物非設置時の運用電力使用料金との差を図に示す。

水平日射遮蔽物非設置時の運用電力使用料金

透明単層ガラス

- 1) 照明エネルギー（電力使用料金）＝29,563,293.38 円
- 2) 暖房エネルギー（電力使用料金）＝14,272,338.47 円
- 3) 冷房エネルギー（電力使用料金）＝24,786,333.50 円

Low-E 複層ガラス

- 1) 照明エネルギー（電力使用料金）＝38,906,464.91 円
- 2) 暖房エネルギー（電力使用料金）＝13,534,719.66 円
- 3) 冷房エネルギー（電力使用料金）＝26,050,822.88 円

カーテンウォール

- 1) 照明エネルギー（電力使用料金）＝27,900,724.01 円
- 2) 暖房エネルギー（電力使用料金）＝16,274,446.65 円
- 3) 冷房エネルギー（電力使用料金）＝30,019,914.54 円

- 外皮性能－窓

水平日射遮蔽物（700mm）を透明単層ガラス，Low-E複層ガラス，カーテンウォールそれぞれに設置して比較・分析する。

- 運用エネルギー消費量

前節“6.5 外皮性能向上における運用エネルギー消費量”で分析・評価された照明エネルギー，冷房エネルギー，暖房エネルギー消費量の1年，3年，5年，10年の期間における運用電力使用料金を分析する。

6.7.2 事務所建築A（カナダ）の分析結果

図6.7-1に、透明単層ガラスを使用した事務所建築A（カナダ）にアルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）の建設に伴う材料金額と運用電力使用料金の分析結果を示す。運用電力使用料金は、アルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）を設置時の運用電力使用料金から水平日射遮蔽物非設置の運用電力使用料金の差を示す。

アルミニウム製水平日射遮蔽物の設置によりアルミニウムの建設材料費は約1,165万円増加した。また、アルミニウム製水平日射遮蔽物の使用により非設置の状態と比較して、照明エネルギー消費量が一年ごとに8.0%増加、暖房エネルギー消費量は0.1%減少、冷房エネルギー消費量は2.7%減少し、合計電力料金は約3.6%増加した。これより、アルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）を設置することによりエネルギー基準値SHGC値を減少させることには効果的だが、水平日射遮蔽物に伴う運用電力使用料金の削減は期待できない。

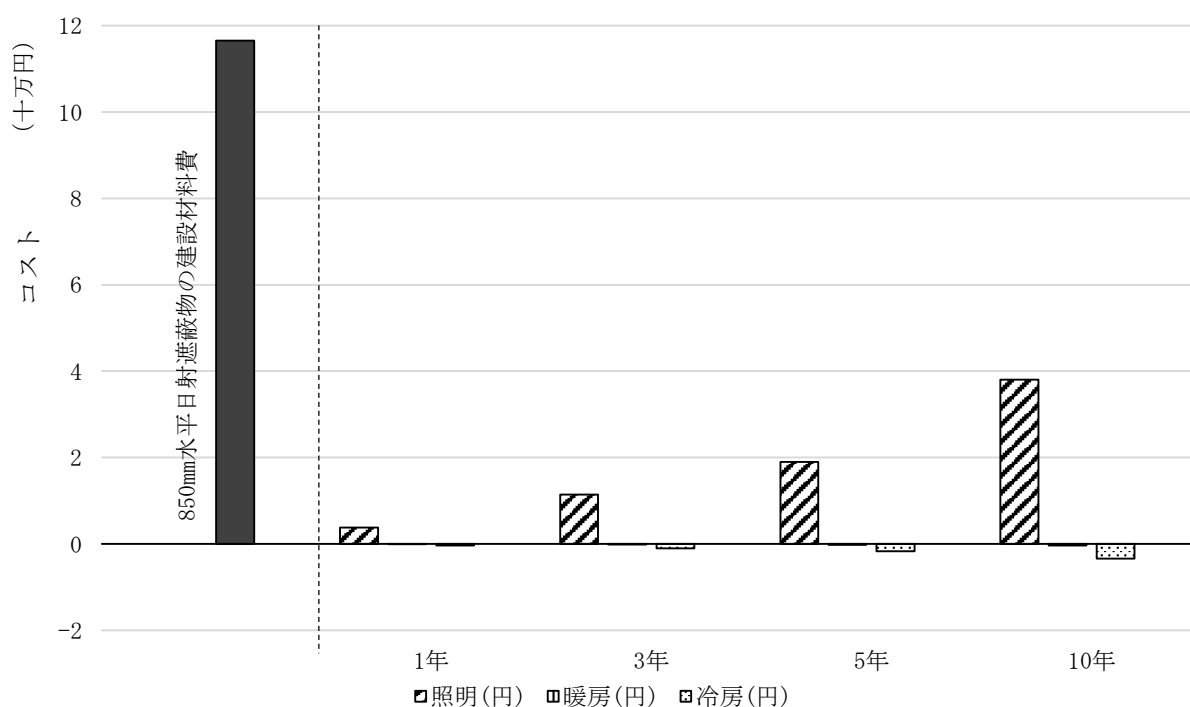


図6.7-1 事務所建築A（カナダ）透明単層ガラス
- 850mm水平日射遮蔽物の建設に伴う材料金額と運用電力使用料金

図6.7-2に、Low-E複層ガラスを使用した事務所建築A（カナダ）にアルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）の建設に伴う材料金額と運用電力使用料金の分析結果を示す。

す。運用電力使用料金は、アルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）を設置時の運用電力使用料金から水平日射遮蔽物非設置の運用電力使用料金の差を示す。

アルミニウム製水平日射遮蔽物の設置によりアルミニウムの建設材料費は約1,165万円増加した。また、アルミニウム製水平日射遮蔽物の使用により非設置の状態と比較して、照明エネルギー消費量が一年ごとに9.2%増加、暖房エネルギー消費量は1.6%増加、冷房エネルギー消費量は8.8%減少し、合計電力料金は約4.5%増加した。これより、アルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）を設置することによりエネルギー基準値SHGC値を減少させることには効果的だが、水平日射遮蔽物に伴う運用電力使用料金の削減は期待できない。

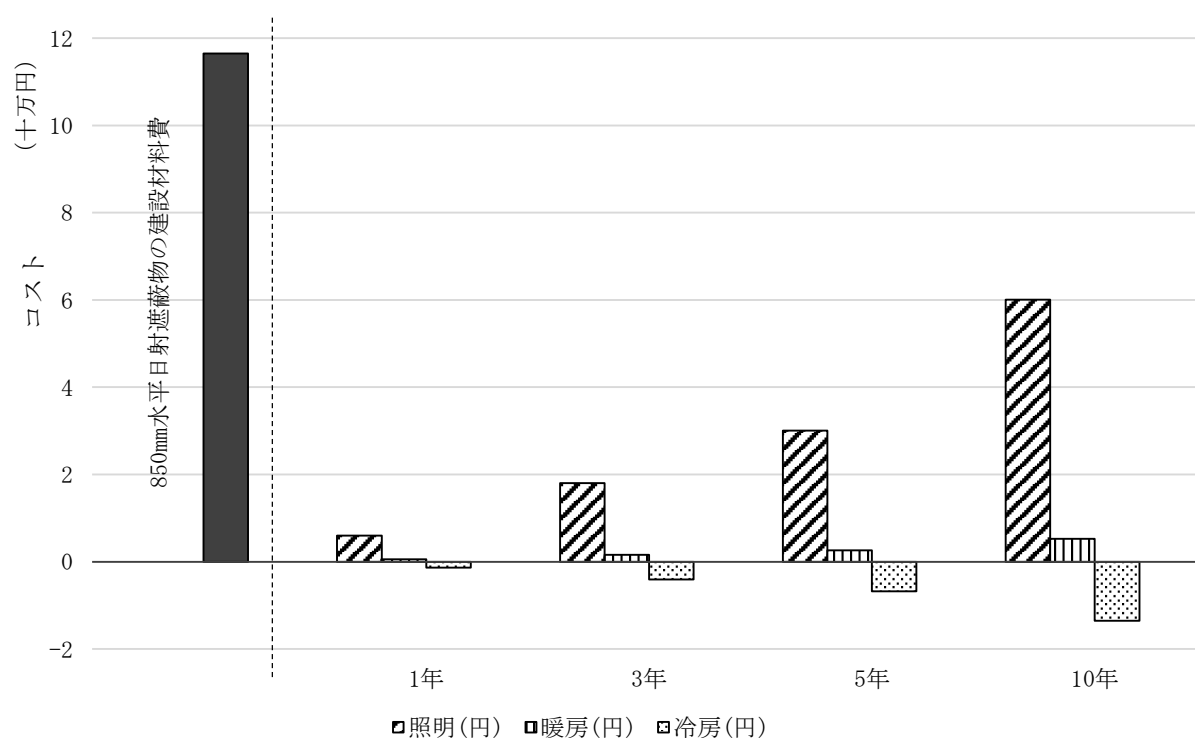


図6.7-2 事務所建築A（カナダ）Low-E複層ガラス
- 850mm水平日射遮蔽物の建設に伴う工事額と運用電力使用料金

図6.7-3に、カーテンウォールを使用した事務所建築A（カナダ）にアルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）の建設に伴う材料金額と運用電力使用料金の分析結果を示す。運用電力使用料金は、アルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）を設置時の運用電力使用料金から水平日射遮蔽物非設置の運用電力使用料金の差を示す。

アルミニウム製水平日射遮蔽物の設置によりアルミニウムの建設材料費は約1,165万円増加した。また、アルミニウム製水平日射遮蔽物の使用により非設置の状態と比較して、照明エネルギー消費量が一年ごとに0.4%増加、暖房エネルギー消費量は1.5%減少、冷房エネルギー消費量は6.7%減少し、合計電力料金は約1.4%減少した。これより、アルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）を設置することによりエネルギー基準値SHGC値を減少させることには効果的だが、水平日射遮蔽物に伴う運用電力使用料金の削減は期待できない。

透明単層ガラス、Low-E 複層ガラス、カーテンウォールの外皮状態事務所建築 A（カナダ）にアルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）の建設に伴う材料金額と運用電力使用料金の分析結果を示した。透明単層ガラス及び Low-E 複層ガラスアルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）設置時の運用電力使用料金は非設置時と比較して3.6～4.5%増加した。カーテンウォールの外皮状態において運用電力使用料金は約1.4%減少したが、10 年後の運用電力使用料金によるアルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）の建設材料金額の回収額は約 1.4%に留まった。

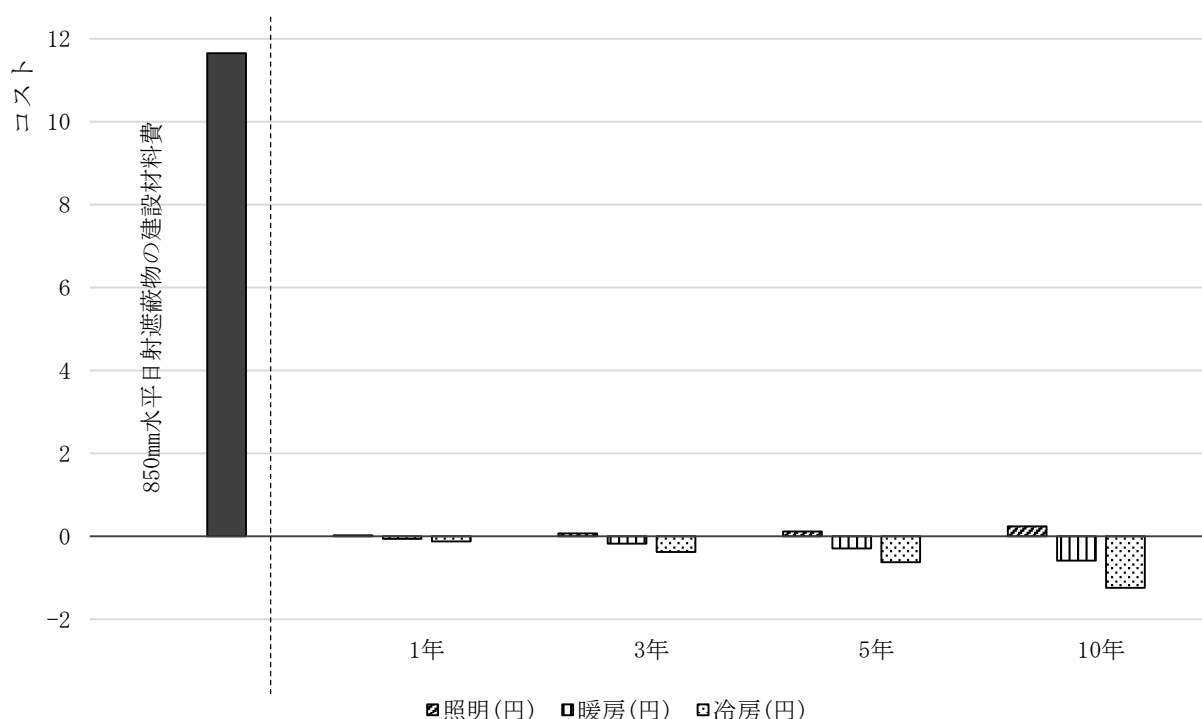


図6. 7-3 事務所建築A（カナダ）カーテンウォール
- 850mm水平日射遮蔽物の建設に伴う工事額と運用電力使用料金

6.7.3 事務所建築B（日本）の分析結果

図6.7-4に、透明単層ガラスを使用した事務所建築B（日本）にアルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）の建設に伴う材料金額と運用電力使用料金の分析結果を示す。運用電力使用料金は、アルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）を設置時の運用電力使用料金から水平日射遮蔽物を非設置の運用電力使用料金の差を示す。

アルミニウム製水平日射遮蔽物の設置によりアルミニウムの建設材料費は約42,273万円増加した。また、アルミニウム製水平日射遮蔽物の使用により非設置の状態と比較して、照明エネルギー消費量が一年ごとに4.2%減少、暖房エネルギー消費量は2.2%増加、冷房エネルギー消費量は2.0%減少し、合計電力料金は約2.0%減少した。これより、アルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）を設置することによりエネルギー基準値PAL*値を減少させることには効果的だが、水平日射遮蔽物に伴う運用電力使用料金の削減は期待できない。

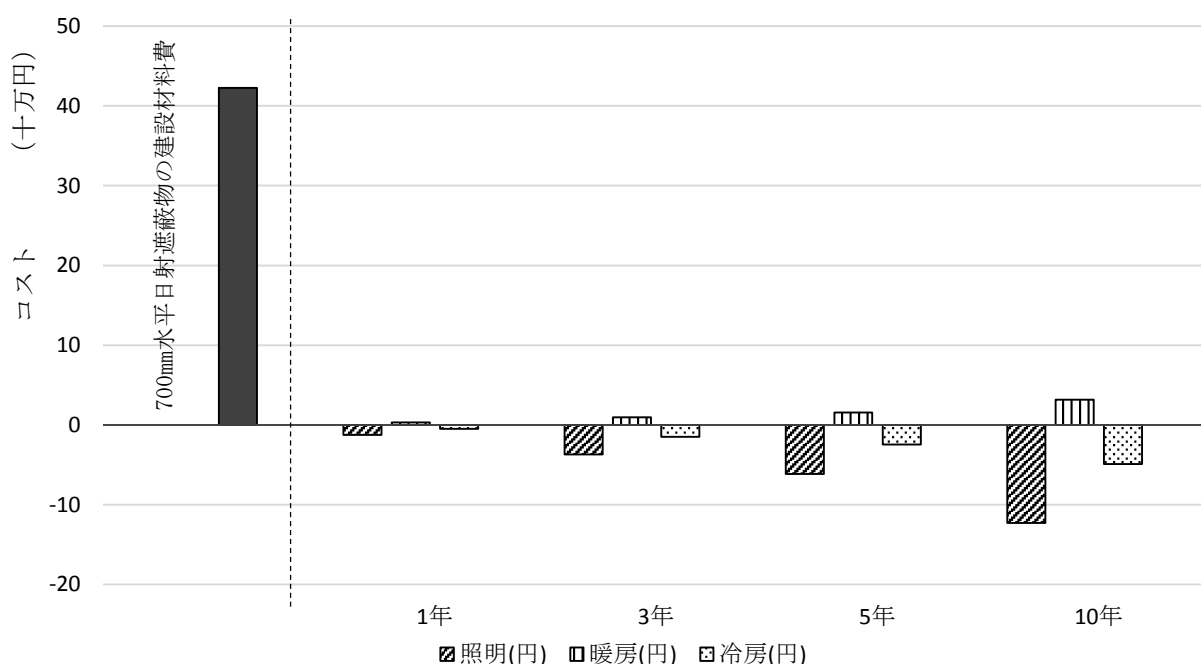


図6.7-4 事務所建築B（日本）透明単層ガラス
- 700mm水平日射遮蔽物の建設に伴う工事額と運用電力使用料金

図6.7-5に、Low-E複層ガラスを使用した事務所建築B（日本）にアルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）の建設に伴う材料金額と運用電力使用料金の分析結果を示す。運用電力使用料金は、アルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）を設置時の運用電力使用料金から水平日射遮蔽物非設置の運用電力使用料金の差を示す。

アルミニウム製水平日射遮蔽物の設置によりアルミニウムの建設材料費は約42,273万円増加した。また、アルミニウム製水平日射遮蔽物の使用により非設置の状態と比較して、照明エネルギー消費量が一年ごとに9.6%増加、暖房エネルギー消費量は3.1%増加、冷房エネルギー消費量は1.8%減少し、合計電力料金は約4.7%増加した。これより、アルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）を設置することによりエネルギー基準値PAL*値を減少させることには効果的だが、水平日射遮蔽物に伴う運用電力使用料金の削減は期待できない。

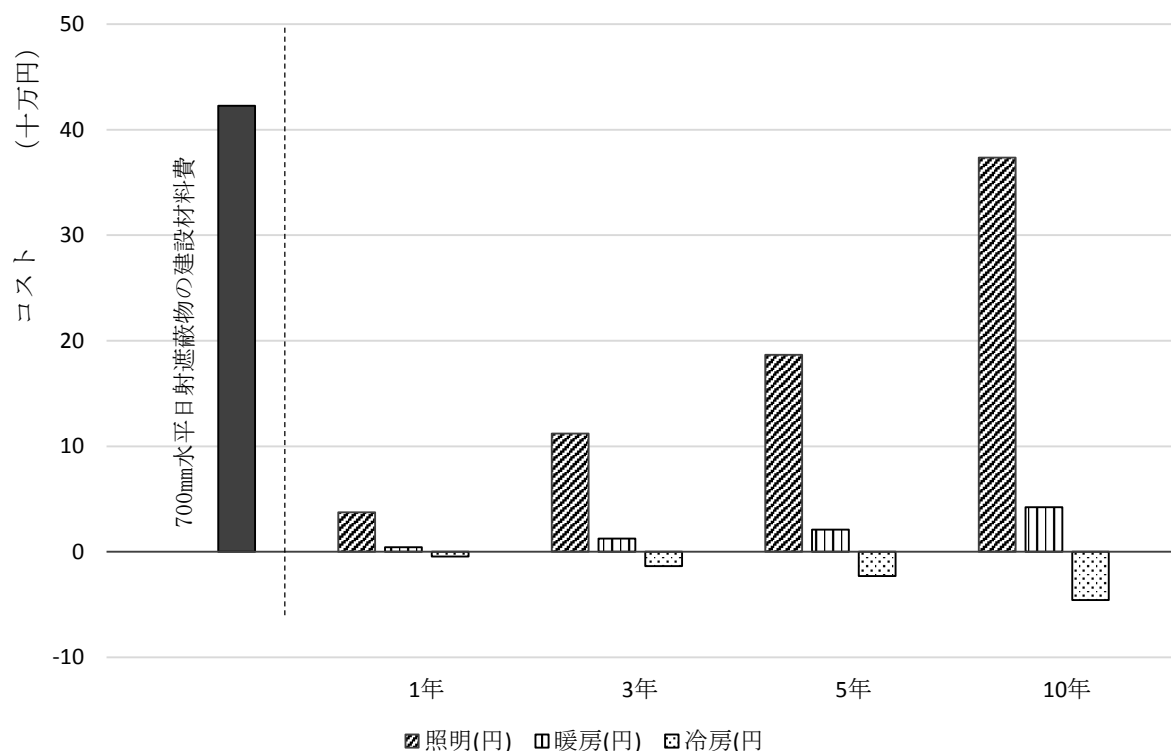


図6.7-5 事務所建築B（日本）Low-E複層ガラス
- 700mm水平日射遮蔽物の建設に伴う工事額と運用電力使用料金

図6.7-6に、カーテンウォールを使用した事務所建築B（日本）にアルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）の建設に伴う材料金額と運用電力使用料金の分析結果を示す。運用電力使用料金は、アルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）を設置時の運用電力使用料金から水平日射遮蔽物非設置の運用電力使用料金の差を示す。

アルミニウム製水平日射遮蔽物の設置によりアルミニウムの建設材料費は約42,273万円増加した。また、アルミニウム製水平日射遮蔽物の使用により非設置の状態と比較して、照明エネルギー消費量が一年ごとに11.4%増加、暖房エネルギー消費量は0.1%減少、冷房エネルギー消費量は5.7%減少し、合計電力料金は約1.9%増加した。これより、アルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）を設置することによりエネルギー基準値PAL*値を減少させることには効果的だが、水平日射遮蔽物に伴う運用電力使用料金の削減は期待できない。

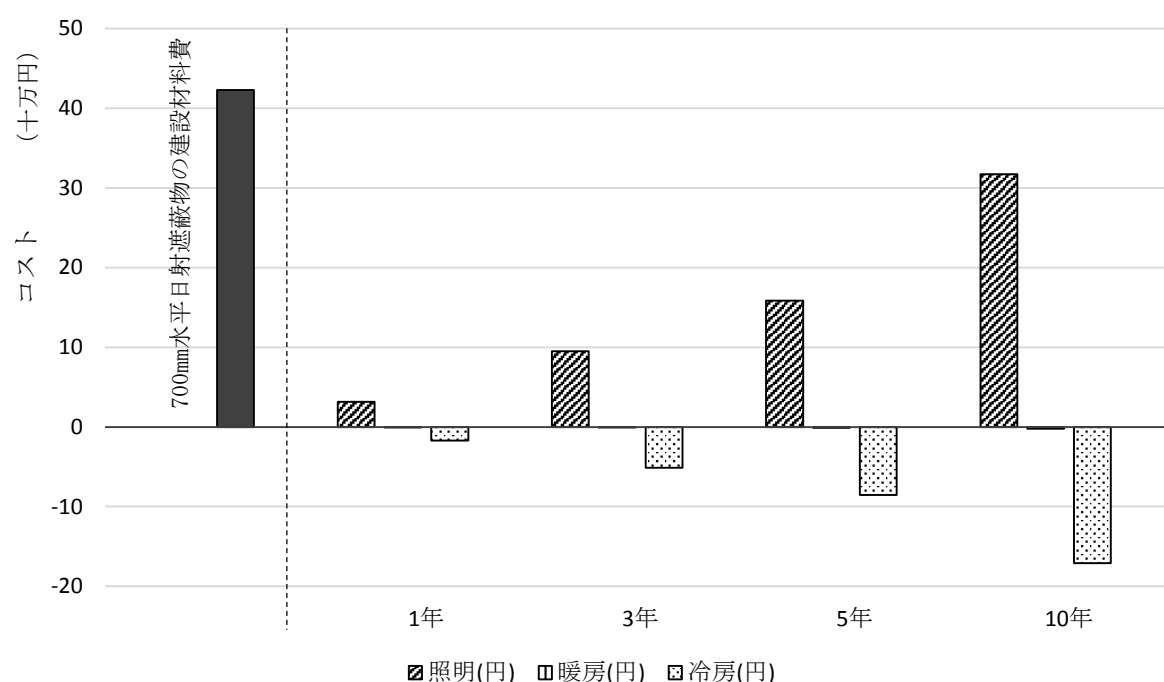


図6.7-6 事務所建築B（日本）カーテンウォール
- 700mm水平日射遮蔽物の建設に伴う工事額と運用電力使用料金

透明単層ガラス，Low-E 複層ガラス，カーテンウォールの外皮状態事務所建築 B（日本）におけるアルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）の建設に伴う材料金額と運用電力使用料金の分析結果を示した。Low-E 複層ガラス及びカーテンウォールにおけるアルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）設置時の運用電力使用料金は、非設置時と比較して 1.9～4.7%増加した。透明単層ガラスの外皮状態において運用電力使用料金は約 2.0%減少したが、10 年後の運用電力使用料金によるアルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）の建設材料金額の回収額は約 3.3%に留まった。

6.8 まとめ

本章では、カナダ・日本における両国の省エネルギー法評価基準にそった水平日射遮蔽物を両国のモデル事務所建築を使って設計し、外皮性能向上設置に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量評価及び運用エネルギー消費量・電力使用料金に分析を行った。それらのデータの相互比較を行うことによって、カナダ・日本における水平日射遮蔽物設置時の特徴を示し、今後の環境配慮型建築技術の導入の効果を判断する場合における活用事例を提示した。

以下に結果を要約する。

- 1) 事務所建築 A (カナダ)に透明単層ガラスを使用し ASHRAE90.1, 2010 の SHGC 値を考察すると、ASHRAE90.1 の場合、水平日射遮蔽物無しで SHGC 値は基準値に対して-80%、有で最大-44%となった。また、PAL*値は水平日射遮蔽物有無にかかわらず基準値に対して-18%となった。
- 2) 事務所建築 A (カナダ)における Low-E ガラス及び、カーテンウォールに東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更すると SHGC 及び、PAL*の基準値をすべて達成することができた。水平日射遮蔽物無しの外皮条件で双方とも約 8%基準値を超えている。また、Low-E ガラスの外皮条件に水平日射遮蔽物を使用したとき最大で 25%基準値を上回っている。PAL*値は Low-E ガラス及び、カーテンウォールの外皮上件に水平日射遮蔽物を使用しても変化はあまり見られなかった。しかし、Low-E ガラスとカーテンウォールにおける PAL*値を比較してみると、Low-E ガラスが基準値に対して約 45%大きいことがわかる。
- 3) 事務所建築 A (カナダ)に透明単層ガラス、Low-E ガラス、カーテンウォールの外皮条件に東・南側の水平日射遮蔽物幅を変更して、東京の気候区分で SHGC 値、PAL*値を比較・分析すると、ASHRAE90.1, 2010 において、事務所建築 A (カナダ)は SHGC 基準値をすべての外皮条件で満たすことはできず、SHGC 値は最大透明単層ガラスの外皮条件で-188%であった。一方、Low-E ガラスの外皮条件で省エネルギー基準の“PAL*”基準値を満たすことができた。また、東京の気候区分で PAL*値を比較・分析すると、水平日射遮蔽物の効果がカナダの気候区分に比べて約 1.4 倍大きいことが分かる。

- 4) 事務所建築 B（日本）における透明単層ガラス，Low-E ガラス，カーテンウォールの外皮条件に東側のみ水平日射遮蔽物幅を変更したときの ASHRAE90. 1, 2010 の SHGC 値は，すべてのケースで SHGC 基準値を満たしていない。水平日射遮蔽物を設置しても SHGC 値は基準値に対して最大で 188.0%，最小では 8.0%小さい。唯一 SHGC 基準値を満たしている外皮条件は Low-E ガラスに水平日射遮蔽物を使用したときである。また，すべての外皮条件で PAL*基準値を満たしていることも考察できる。PAL*値はどのケースにおいても基準値に対して約 10%大きい。また，水平日射遮蔽物幅に関わらずどのケースも一定である。
- 5) 事務所建築B（日本）における透明単層ガラス，Low-Eガラス，カーテンウォールの外皮条件に東側のみの水平日射遮蔽物幅を変更時のSHGC値は東京の気候区分の分析より最低で基準値に対して100%以上改善した。しかし，透明単層ガラスの外皮条件でSHGC基準値を満たしていない。また東京の気候区分の分析同様，PAL*数値は基準値はカーテンウォールの外皮条件の時に最大で25%基準値を満たしていることも考察できる。PAL*値は，水平日射遮蔽物幅に関わらずどのケースも一定である。
- 6) 事務所建築A（カナダ），事務所建築B（日本）におけるカーテンウォーを使用した外皮性能向上に伴うエネルギー消費量及びCO₂消費量は，透明単層ガラスに伴うエネルギー消費量の約 4 倍，Low-Eガラスに伴うエネルギー消費量の約 2.3倍となった。事務所建築A（カナダ）と事務所建築B（日本）におけるエネルギー消費量の差は，窓面積の差と比べると約2.8倍となっている。この結果より，事務所建築A（カナダ）における外皮性能向上に投入される強化ガラスのエネルギー消費量効率は，事務所建築B（日本）と比較すると約 1/2倍であることが考察できた。
- 7) アルミニウムを使用した水平日射遮蔽物のエネルギー消費量は，強化ガラスを使用した水平日射遮蔽物の約4.5倍となった。また，CO₂排出量の差は約1.8倍となった。
- 8) 事務所建築A（カナダ）において最も効率の良い水平日射遮蔽物建設に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量関係はケース2の水平日射遮蔽物(850mm幅)と分析できた。

- 9) 事務所建築B（日本）においてPAL*値をを効果的に減少させ、最も効率の良い水平日射遮蔽物建設に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量関係はケース3の水平日射遮蔽物(700mm幅)と分析できた。
- 10) 事務所建築A（カナダ）における透明単層ガラス，Low-E複層ガラス，カーテンウォールを使用したときの建設エネルギー消費量は，運用エネルギー消費量の約3.7倍，5.2倍，12.5倍となった。また，水平日射遮蔽物設置時における建設エネルギー消費量は，窓のみの外皮性能向上と比較してそれぞれ2倍，1.6倍，1.3倍となった。
- 11) 事務所建築B（日本）における透明単層ガラス，Low-E複層ガラス，カーテンウォールを使用したときの建設エネルギー消費量は，運用エネルギー消費量の約1.1倍，1.9倍，3.7倍となった。また，水平日射遮蔽物設置時における建設エネルギー消費量は，窓のみの外皮性能向上と比較してそれぞれ1.6倍，1.4倍，1.2倍となった。
- 12) 事務所建築A（カナダ）における透明単層ガラス及びLow-E複層ガラスアルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）設置時の運用電力使用料金は，非設置時と比較して3.6～4.5%増加した。カーテンウォールの外皮状態において運用電力使用料金は約1.4%減少したが，10年後の運用電力使用料金によるアルミニウム製水平日射遮蔽物（850mm）の建設材料金額の回収額は約1.4%に留まった。
- 13) 事務所建築B（日本）におけるLow-E複層ガラス及びカーテンウォールにおけるアルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）設置時の運用電力使用料金は，非設置時と比較して1.9～4.7%増加した。透明単層ガラスの外皮状態において運用電力使用料金は約2.0%減少したが，10年後の運用電力使用料金によるアルミニウム製水平日射遮蔽物（700mm）の建設材料金額の回収額は約3.3%に留まった。

第6章 参考文献

- 1) ASHRAE : Standard 90.1, (<https://www.ashrae.org/resources--publications/bookstore/standard-90-1>)
- 2) City of Vancouver : Passive Design Toolkit, (<http://vancouver.ca/files/cov/passive-design-large-buildings.pdf>)
- 3) National Research Council Canada, (<http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/index.html>)
- 4) 国土交通省 : 国土技術政策総合研究所資料, 平成25年省エネルギー基準等関係資料－非住宅建築物の外皮性能評価プログラム解説－, 2013, (http://www.kenken.go.jp/becc/documents/building/Manual/b_all_No150.pdf)
- 5) 経済産業省 : 省エネ法の概要について, 2013, (http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/summary/)
- 6) EnergyPlus Energy Simulation Software, (<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>)
- 7) PAL*算定プログラム Ver 1.2.0, (<http://palstar.app.lowenergy.jp/>)
- 8) 独立行政法人建築研究所 : 住宅・建築物の省エネルギー基準及び低炭素建築物の認定基準に関する技術情報, (<http://www.kenken.go.jp/becc/>)
- 9) BC Hydro, General service Business Rate, (<https://www.bchydro.com/accounts-billing/rates-energy-use/electricity-rates/business-rates.html>)
- 10) 東京電力, 業務用電力 (契約電力500kW以上) , (<http://www.tepco.co.jp/e-rates/corporate/charge/charge07-j.html>)
- 11) Canada Green Building Council, LEED v4 (<http://www.cagbc.org/leedv4>)
- 12) CASBEE, CASBEE - 建築(新築) , (http://www.ibec.or.jp/CASBEE/cas_nc.htm)
- 13) 日本サステナブル建築協会 : 住宅の改正省エネルギー基準の建築主の判断基準と設計・施工指針の解説, 2015, 11, (http://lowenergy.jsbc.or.jp/top/resource/house_text1.pdf)

第7章 建築物の外皮性能向上普及に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量の分析

7.1 概要

本章では、既存事務所建築における外皮性能向上の重要性を説くだけでなく、カナダ・日本の代表的な都市において既存事務所建築のストック量を調査するとともに、既存事務所建築の外皮性能向上に伴うエネルギー排出量・CO₂排出量を分析及び比較する。建設時の環境負荷については、これまでに整理した原単位を利用する。また、運用時の環境負荷については、前章のシュミレーションに基づくデータを利用した推計値であり、実際の都心の方位は反映されていない試算した結果が得られた。

7.2 既存事務所建築における外皮性能向上の重要性

図7.2-1にカナダ(ASHRAE 90.1)、図7.2-2に日本(省エネルギー基準)における両国の省エネルギー化に関する経緯を示す。

カナダの主要な省エネルギー法として広く使用されてきたASHRAE 90.1-1999の改定を期に、ASHRAE 90.1における省エネ化の規制は年々強化されてきた。エネルギー消費量削減率は、ASHRAE 90.1-2004年度版において11%、2004年度版で30%、2007年度版で25%改定ごとに改選されている。

また、日本における建築物に対する省エネルギー法は、1999年度版の改定以来エネルギー消費量削減率は強化され、2001年度のCASBEEの採用と共に2003年度に“2,000m²以上の非住宅建築物の建築における省エネルギー法届出”が義務づけられた。このように両国における非住宅建築物の省エネルギー強化は、LEEDの開発・発展と共に2000年度を境に促進されたきた。本論文において、両国の行政による省エネルギー法・建築物総合環境性能評価システムの採用などにより、主に2000年以降に建築された事務所建築を“環境配慮型建築物”、2000年以降に建設された事務所建築を“既存事務所建築”と定義する。

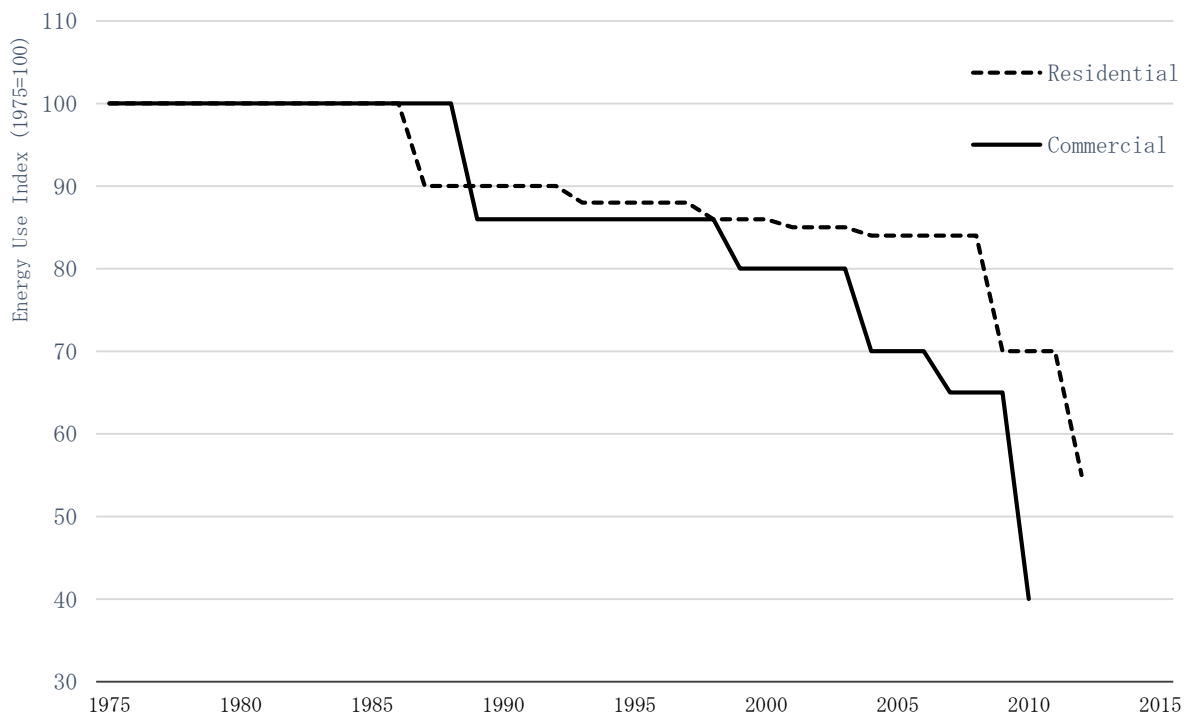


図 7.2-1 ASHRAE 90.1 の省エネ化に関するこれまでの経緯

出展：(文献 10)

分類	1970～	1980～	1990～	2000～	2010～
① 省エネ法に基づく規制		<ul style="list-style-type: none"> 1979年～ 省エネ法(努力義務) 		<ul style="list-style-type: none"> 2003年～ (届出義務) [2000㎡以上の非住宅建築物の建築] 	
		<ul style="list-style-type: none"> 1980年～ 省エネ基準1980年版 	<ul style="list-style-type: none"> 1992年～ 住宅1992年版(強化) 1993年～ 非住宅1993年版(強化) 	<ul style="list-style-type: none"> 2006年～ (届出義務の拡大) [2,000㎡以上の住宅の建築] [2,000㎡以上の住宅・建築物の大規模改修等] 	<ul style="list-style-type: none"> 2009年～ (住宅トップランナー制度の導入) [住宅事業建築主(150戸/年以上)が新築する戸建住宅]
			<ul style="list-style-type: none"> 1999年～ 省エネ基準1999年版(強化) 	<ul style="list-style-type: none"> 2010年～ (届出義務の拡大) [300㎡以上の住宅・建築物の建築] 	
					<ul style="list-style-type: none"> 2013年～ 省エネ基準2013年版(一次エネルギー消費量基準)
② 省エネ性能の表示・情報提供				<ul style="list-style-type: none"> 2000年～ <住宅の品質確保の促進等に関する法律> 住宅性能表示制度 	
				<ul style="list-style-type: none"> 2001年～ 建築環境総合性能評価システム(CASBEE) 	
				<ul style="list-style-type: none"> 2009年～ <省エネ法>住宅省エネラベル 	
③ インセンティブの付与				<ul style="list-style-type: none"> 2007年～ フラット35S(住宅ローン金利優遇) 	
				<ul style="list-style-type: none"> 2008年～ 住宅・建築物省CO2先導事業 	
				<ul style="list-style-type: none"> 2008年～ 省エネ改修推進事業 	
				<ul style="list-style-type: none"> 2010年～ 住宅エコポイント 	
				<ul style="list-style-type: none"> 2012年～ 住宅のゼロ・エネルギー化推進事業 	
				<ul style="list-style-type: none"> 2008年～ 省エネリフォーム促進税制 	
				<ul style="list-style-type: none"> 2009年～ <長期優良住宅の普及の促進に関する法律> 長期優良住宅認定制度(住宅ローン減税、固定資産税引き下げ等) 2012年～ <都市の低炭素化の促進に関する法律> 低炭素建築物認定制度(住宅ローン減税、容積率緩和等) 	

図 7.2-2 省エネルギー基準の省エネ化に関するこれまでの経緯

出展：(文献 2)

7.2.1 カナダの事務所建築市場及び行政と環境配慮型建築物事務所建築市場

GaBC (Canada Green Building Council)による調査によると、カナダの設計事務所における2014年度のプロジェクトの約55%以上が環境配慮型建築物の設計となった。米国の環境配慮型建築物市場のシェアは2011年度で42%、カナダの市場は32%と10%の違いがあった。しかし2014年度以降、両国の環境配慮型建築物市場のシェアは約40%程度とほぼ変化はみられない。一方、図7.2-3に示すように、カナダ・米国における環境配慮型建築物建設の引き金となる主な理由に大きな相違がみられる。注目すべき理由として、“正しいことをする (Right Things to Do)” という回答が24%を占め、カナダの環境配慮型建築物市場の一番の要因となっており、米国の12%と比較すると全く対照的な結果となっている。環境的に“正しいことをする”とは非常に漠然としたものであるが、GaBCによるとカナダのテナントは米国のテナントに比べて非常に環境に対する配慮が高く、このような国民性が環境配慮型建築物市場の需要を高めているといえる。

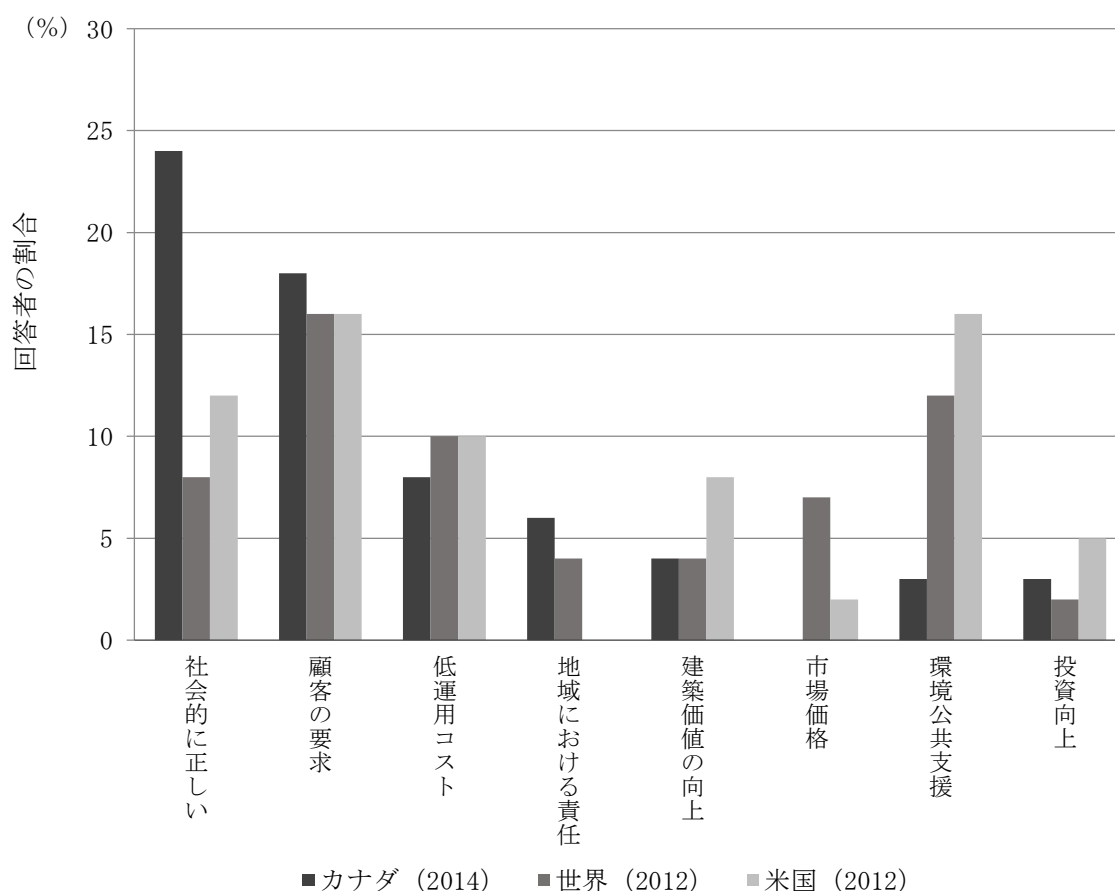


図 7.2-3 カナダ・米国における環境配慮型建築物建設の主要理由

出展：出展：(文献 4)

図7.2-4に、カナダ・米国における環境配慮型建築物（LEED）改築の需要と重要性を示す。現在、カナダの設計事務所では60%以上のプロジェクトが改築の設計であり、そのうちの40%のプロジェクトがLEEDの認定を取得するとされている。2000年以降に建設された多くの建築物は、LEED等における環境配慮型建築物として建設された。これらの環境配慮型建築物は、テナントの移動と共にインテリアや外装の変更といった小規模な改築は行われるが、外皮性能の向上といった大規模な改築は必要とされることはない。図が示すように、2009年を境に環境配慮型建築物（LEED）改築の需要がLEED新築の需要を超えているのが分かる。今後最も重要なのは、2000年以降に建設された建築物をいかに現在の環境配慮基準に合った環境配慮型建築物に改築するかということである。このことよりも、環境配慮型建築物改築の整備は重要と考察できる。

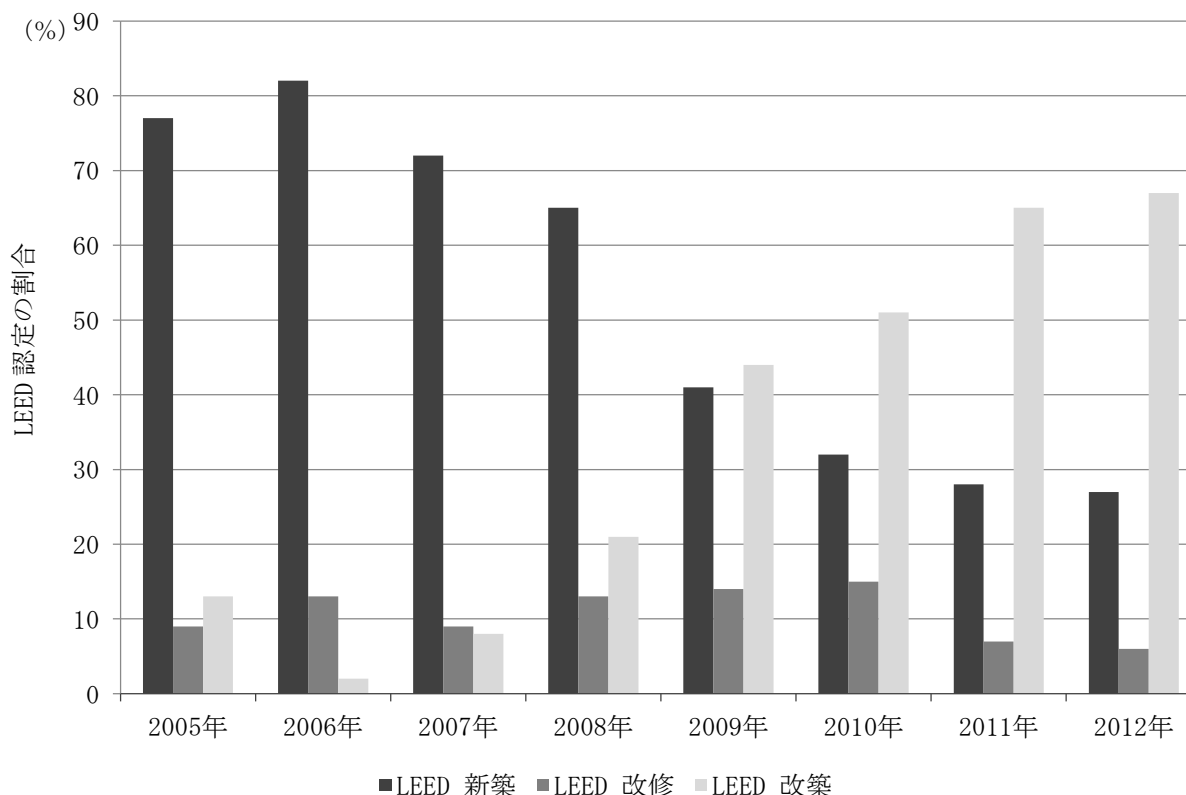


図 7.2-4 カナダ・米国における環境配慮型建築物改築・改修の需要
出展：(文献 13)

環境配慮型建築物における事務所建築賃料収益に着目すると、環境に配慮した事務所建築は相対的に高い賃料がとることができる。カナダの事務所建築市場において、LEED認定事務所建築は一般の事務所建築に比べて約5～5.8%程度の賃料上昇ができ、取引価格においては約11%の上昇が期待できるとされている。また、事務所建築稼働率は、3%～8%程度高くなるといった結果も出ている。この様なLEED認証の事務所建築における事務所建築市場の不動産価格の影響などにより、既存の事務所建築の改修は事務所オーナーにとって魅力的なものとなっている。

第2章でも述べた通り、カナダの多くの行政で省エネルギー法（ASHRAE90.1もしくはNECB）及び建築物総合環境性能評価システム（LEED）の評価の提出を義務づけている。特に、バンクーバー市では2009年に“Greenest City 2020 Action Plan”と題する環境問題対策を発表した。この計画は大きく分けて10項目に大別することができ、2020年までにバンクーバーを世界で最もグリーンな都市にするというものがある。その政策の中に“Green Buildings:熱効率の改善及び、グリーンな建築を促進する”という項目がある。これを受けてバンクーバー市は、2014年6月に“Green Building Policy for Rezoning”の中ですべての建築物はLEED Gold以上の取得を義務づけられた。図7.2-5に示すように、省エネルギー法（ASHRAE90.1もしくはNECB）と同様に、LEEDにおける評価基準は改定ごとに厳しくなっている。このことより、いかに既存建築物が新築建築物同様、現在使用されているLEEDの基準を満たすといった環境配慮型建築物改修の重要性が必然的に高まっている。

- 既存の法律や基準の枠組みを有効利用
- CASBEE新築・既存の事務所を対象としたツールを作成

このことより、今後CASBEE不動産マーケット普及版がLEEDに酷似される環境性能評価制度に変化していくことは明白である。前節でカナダ・米国の環境配慮型建築物の不動産価値を考察した通り、環境配慮型事務所建築における不動産価値及び需要は、LEEDの開発とともに増加傾向にある。よって、日本の不動産における環境配慮型事務所建築の価値は増加し、既存事務所建築の改築・改修が増加するだろうと予想される。

前節で述べたバンクーバー市の“Greenest City 2020 Action Plan”と対応して、日本では2012年に“都市の低炭素化の促進に関する法律（通称:エコまち法）”が制定された(図7.2-6)。東日本大震災を発端とするエネルギー供給の変化や、国民のエネルギー・地球温暖化に関する意識の上昇、市街地区域等における民間投資の促進を通じて、都市全体の低炭素化・エネルギー使用の合理化を促すものである。その中にある低炭素建築物の認定基準に対する評価項目を下記に示す。

必須項目

- 外皮の熱性能に関する基準
- 省エネ基準に比べ、一次エネルギー消費量10%以上の削減

選択項目（2項目以上を選択）

- HEMS等の導入
 - HEMSまたはBEMSの設置
 - 再生可能エネルギーと連係した蓄電池の設置
- 節水対策
 - 節水に資する機器の設置
 - 雨水、井戸水または雑排水の利用のための設備の設置
- 躯体の低炭素化
 - 住宅の劣化の軽減に資する措置
 - 木造住宅または木造建築物である
 - 高炉セメントまたはフライアッシュセメントの使用
- ヒートアイランド対策
 - 一定のヒートアイランド対策（屋上・壁面緑化等）の実施



図 7.2-6 都市の低炭素化の促進に関する法律（通称:エコまち法）

出展：（文献 11）

「都市の低炭素化の促進に関する法律」に基づく低炭素まちづくり計画作成状況



図 7.2-7 都市の低炭素化の促進に関する法律に基づく計画作成状況

出展：（文献 12）

図7.2-7に示すように、日本各地でエコ街法に基づく計画が作成されている。日本の都市構造は、カナダの都市と比べて密集している都市がほとんどであるため、既存建築物の改良・改築が一つの重要な要素となる。特に、東京都の23区は新築と既存建物が複雑に都市を構成しているため、都市それぞれの特徴を把握しながら適切な既存建築物の環境配慮型改築が必要である。

7.3 カナダ・日本における既存事務所建築のストック量の分析

カナダ・日本における既存事務所建築のストック状況を分析する。カナダにおいてはバンクーバー、カルガリー、トロントの3主要都市、日本は主要都市東京の事務所建築のストック状況を考察する。

図7.3-1にカナダ3都市及び東京における新築事務所建築の動向を示す。1995年～2005年における新築事務所建築の工事は、バンクーバー市を除くトロント市、カルガリー市の事務所建築でほとんど供給されていない。大きな理由として、都市近郊部の開発が優先されたことと、雇用率の低迷が都市部での事務所建築供給に影響を与えたと考えられる。一方、バンクーバー市は1970年代より事務所建築の供給は常に安定している。これは、1970年代以降アジア地域からの移民の増加また、バンクーバー市がアメリカ西海岸の貿易拠点として発展したことがあげられる。表7.3-1からも読み取れるように、80年～90年代に建築された事務所建築改修の重要性が増加すると考えられる。

東京はカナダの3都市と相違して、日本の事務所建築総ストックの60%が東京23区に集中している。特に、千代田区、中央区、港区に東京23区の事務所建築約50%が集中し、カナダの3都市と比較して事務所建築の供給率は安定している。事務所建築供給量における東京23区の大きな特徴は、2005年以降、約60%の新築事務所建築が従来ホテル、事務所、住宅等の用途で使用されていた建築物を取り壊した後の敷地を利用して建設されていることである。また、カナダの3都市と比較すると東京23区の事務所建築供給量は約3倍～8倍となっている。前節で述べたように、エコ街法の制定により“建て替え”より“改修”の需要が増加すると考察できる。この様な背景より、特に80～90年代に建設された事務所建築の改修が増加すると考えられる。

今回の論文で対象としているカナダ・日本における“既存事務所建築”は、1980年～2000年に建設された事務所建築とする。大きな理由として本節ですでに述べたように、両国による省エネルギー政策等による非住居建築物におけるエネルギー消費量の改善及びインセティブの整備があげられる。また、多くの築30年以上の事務所建築はすでに利益が回収されており、オーナーが既存事務所建築を環境配慮型改修を選択する可能性が低いと考察した。

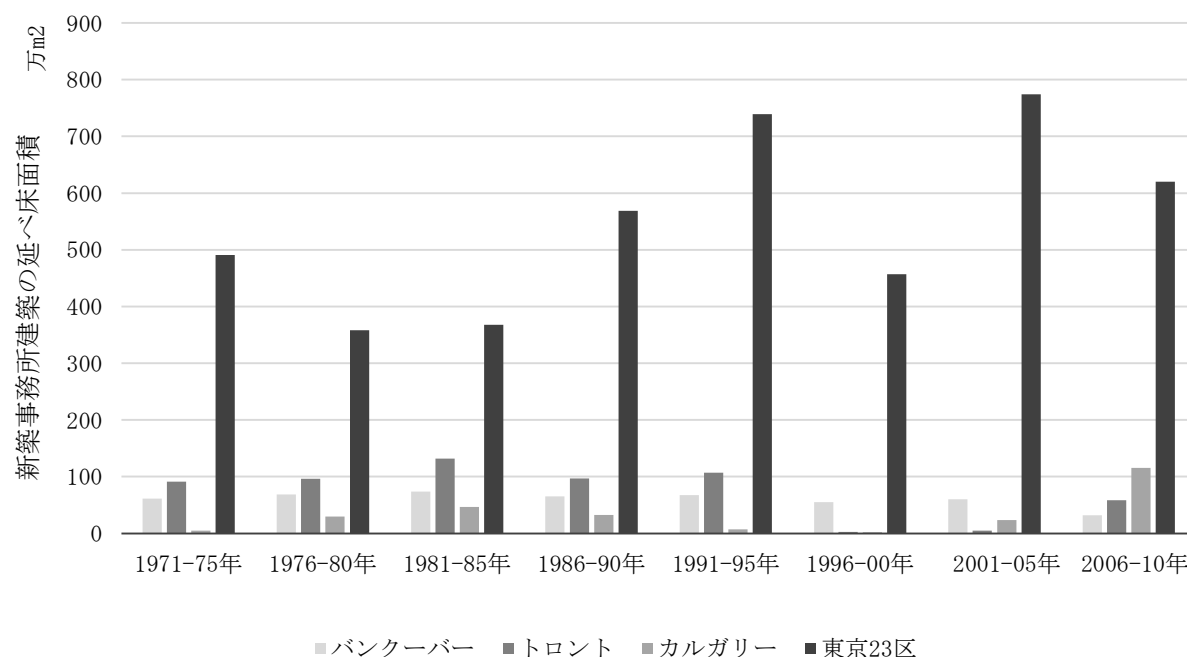


図 7.3-1 カナダ 3 都市の新築事務所建築の動向

7.4 分析方法

前章の6.4, 5で算出した外皮性能向上における建設及び運用時のエネルギー消費量・CO₂排出量を利用し、カナダ・日本の主要都市における既存事務所建築が外皮性能を向上によって改修された時の建設及び運用時における建築物のエネルギー排出量・CO₂排出量をシュミレーションする。事務所建築改修によるエネルギー消費量・CO₂排出量を都市レベルで仮想的に分析及び比較する。

ステップ1

カナダの主要3都市、バンクーバー市、トロント市、カルガリー市、と日本の主要都市、東京における1980年～2000年に建設された既存事務所建築の延床面積を算出し、外皮性能を向上による建設及び運用時のエネルギー消費量・CO₂排出量を各都市レベルで分析・比較する。

ステップ2

前章の6.4, 5で算出した外皮性能向上（透明単層ガラス，複層Low-Eガラス，カーテンウォール）及び，水平日射遮蔽物設置における建設及び運用時のエネルギー消費量・CO₂排出量を利用し，各都市の事務所建築ストックから都市レベルによる外皮性能向上による建設及び運用時のエネルギー消費量・CO₂排出量を算出する。

7.5 建築物の外皮性能向上普及に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量

本節では，カナダの主要3都市，バンクーバー市，トロント市，カルガリー市，と日本の主要都市，東京における1980年～2000年に建設された既存事務所建築の外皮性能を向上に伴う建設及び運用時のエネルギー消費量・CO₂排出量を都市レベルで5年ごとに分析・比較する。

7.5.1 建築物の外皮性能向上普及に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量

カナダの主要3都市，バンクーバー市，トロント市，カルガリー市，及び日本の東京23区の既存事務所建築に透明単層ガラス（図7.5-1），複層Low-Eガラス（図7.5-2），カーテンウォール（図7.5-3）を使用した外皮性能向上に伴うのエネルギー消費量，また，透明単層ガラス（図7.5-4），複層Low-Eガラス（図7.5-5），カーテンウォール（図7.5-6）を使用した外皮性能向上による建設に伴うCO₂排出量を示す。カナダ3都市の既存事務所建築に複層Low-Eガラスを使用した改修時のエネルギー消費量・CO₂排出量は，透明単層ガラスを使用したときに比べて約1.7倍となった。また，カーテンウォールを使用すると約4.0倍改修時のエネルギー消費量・CO₂排出量は増加した。東京23区の既存事務所建築のストック量が，カナダの3都市の約70倍になるためカナダ3都市のとのエネルギー消費量の比較は意味をなさない。東京23区の既存事務所建築の複層Low-Eガラスを使用した改修のエネルギー消費量は，透明単層ガラスの約5倍となった。また，東京23区の既存事務所建築にカーテンウォールを使用した改修時のエネルギー消費量は，約10.8倍となった。カナダの3都市及び東京23区の透明単層ガラスを使用した既存事務所建築改修時におけるCO₂排出量を複層Low-Eガラス，カーテンウォールを使用したときと比較してみるとそれぞれ1.6倍，4倍となった。

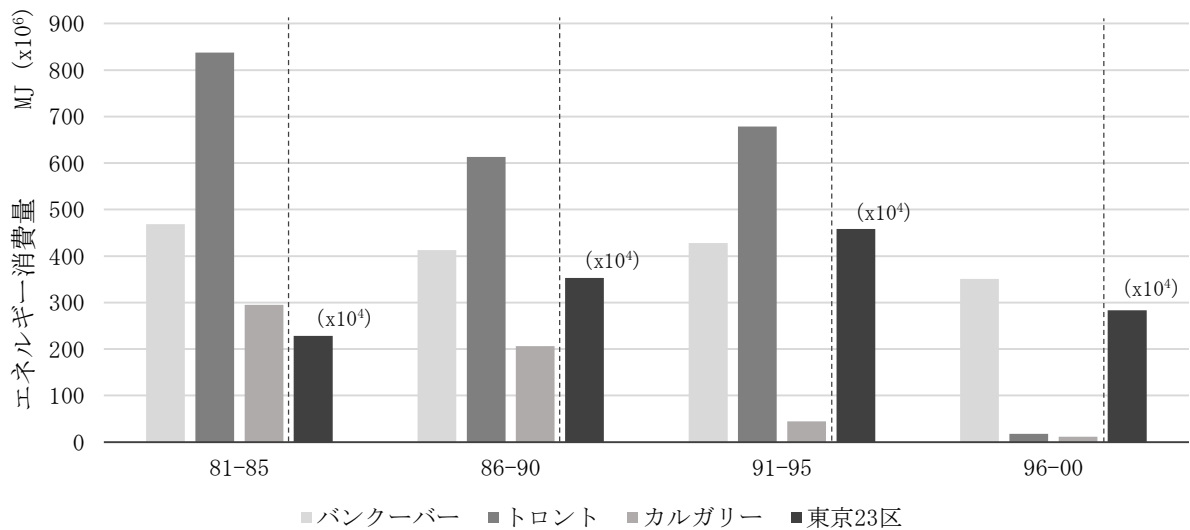


図7.5-1 カナダ・日本主要都市における透明単層ガラスを使用した外皮性能向上に伴うエネルギー消費量

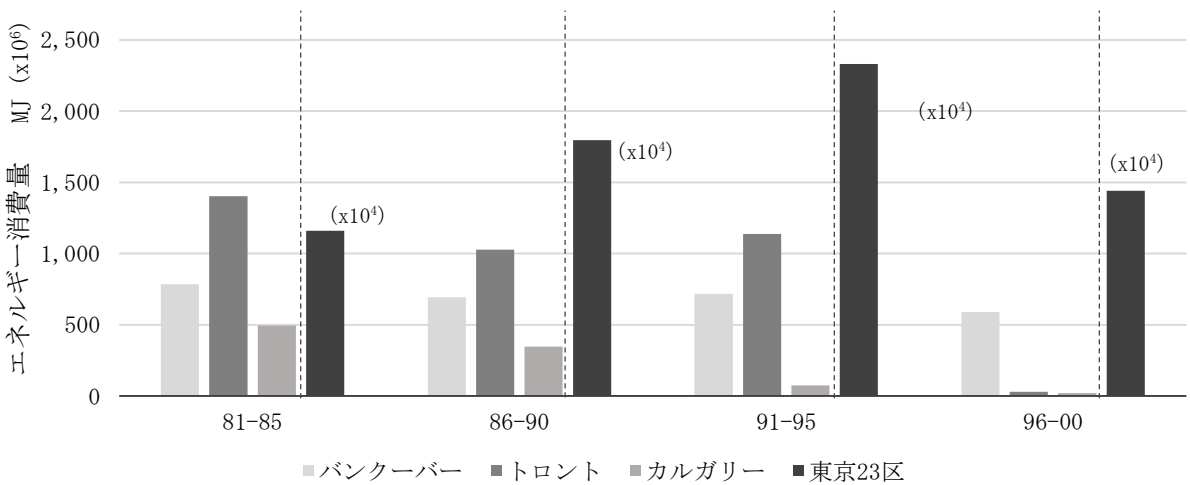


図7.5-2 カナダ・日本主要都市における複層Low-Eガラスを使用した外皮性能向上に伴うエネルギー消費量

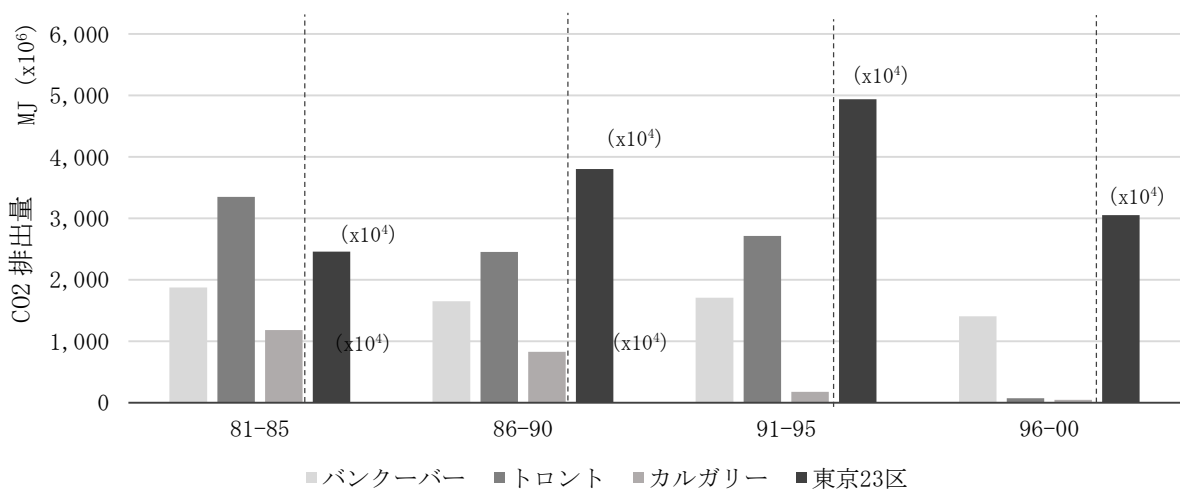


図7.5-3 カナダ・日本主要都市におけるカーテンウォールを使用した外皮性能向上に伴うエネルギー消費量

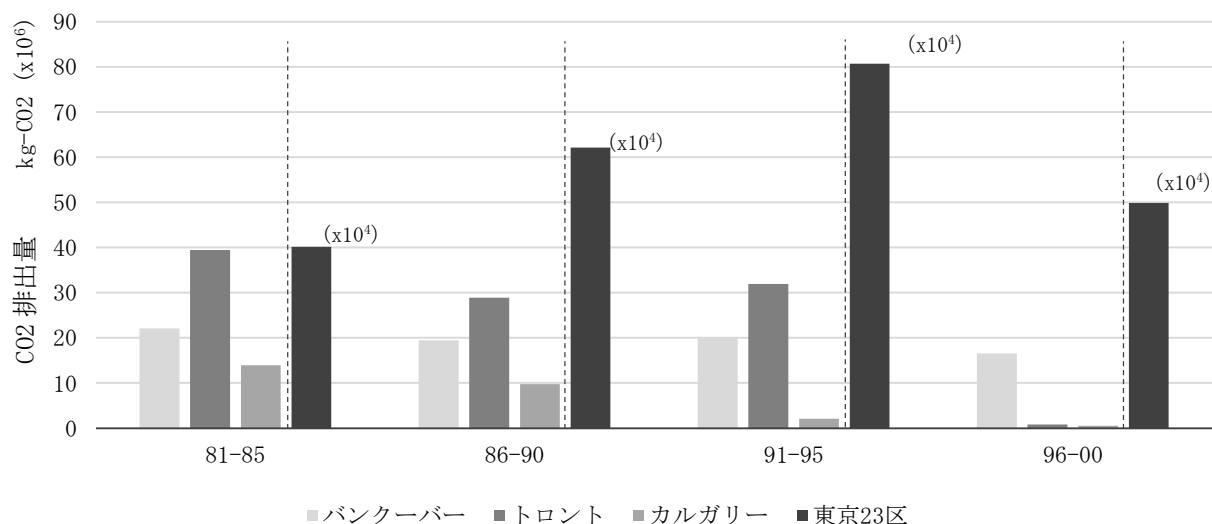


図7.5-4 カナダ・日本主要都市における透明単層ガラスを使用した外皮性能向上による建設に伴うCO₂消費量

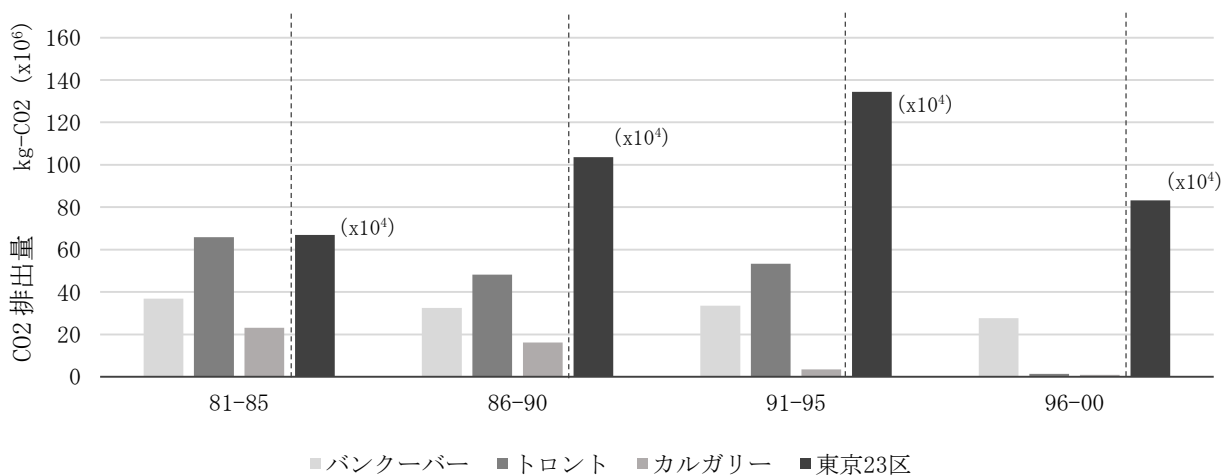


図7.5-5 カナダ・日本主要都市における複層Low-Eガラスを使用した外皮性能向上による建設に伴うCO₂消費量

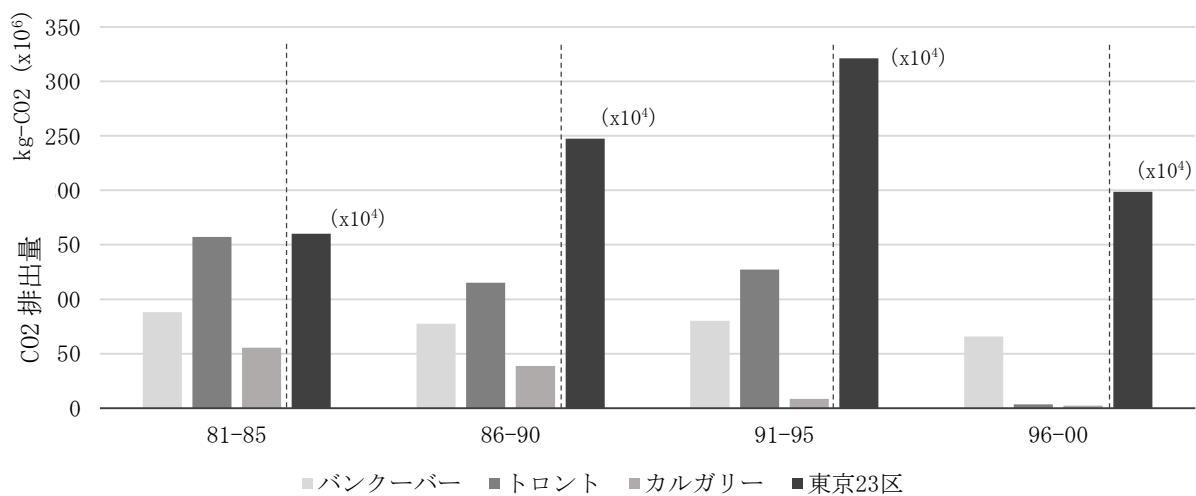


図7.5-6 カナダ・日本主要都市におけるカーテンウォールを使用した外皮性能向上による建設に伴うCO₂消費量

7.5.2 水平日射遮蔽物普及に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量

カナダの主要3都市、バンクーバー市、トロント市、カルガリー市、と日本の東京23区の既存事務所建築におけるアルミニウム製水平日射遮蔽物設置時のエネルギー消費量（図7.5-7）及び、CO₂排出量（図7.5-8）を示す。カナダ主要3都市の既存事務所建築におけるアルミニウム製水平日射遮蔽物設置時のエネルギー消費量は、複層Low-Eガラス使用時のエネルギー消費量の約1/70倍である。また、東京23区の既存事務所建築に使用される水平日射遮蔽物設置時のエネルギー消費量は、複層Low-Eガラス使用時のエネルギー消費量で約1/43倍のエネルギー消費量となった。

一方、カナダ主要3都市の既存事務所建築におけるアルミニウム製水平日射遮蔽物設置時のCO₂排出量は、複層Low-Eガラス使用時のCO₂排出量の約1/3倍となった。また、東京23区の既存事務所建築に使用される水平日射遮蔽物設置時のCO₂排出量は、複層Low-Eガラス使用時のCO₂排出量の約1/3倍程度のCO₂排出量となった。このことより、日本におけるアルミニウム製水平日射遮蔽物設置におけるエネルギー効率は、カナダの3都市と比較して非常に悪いことを意味している。

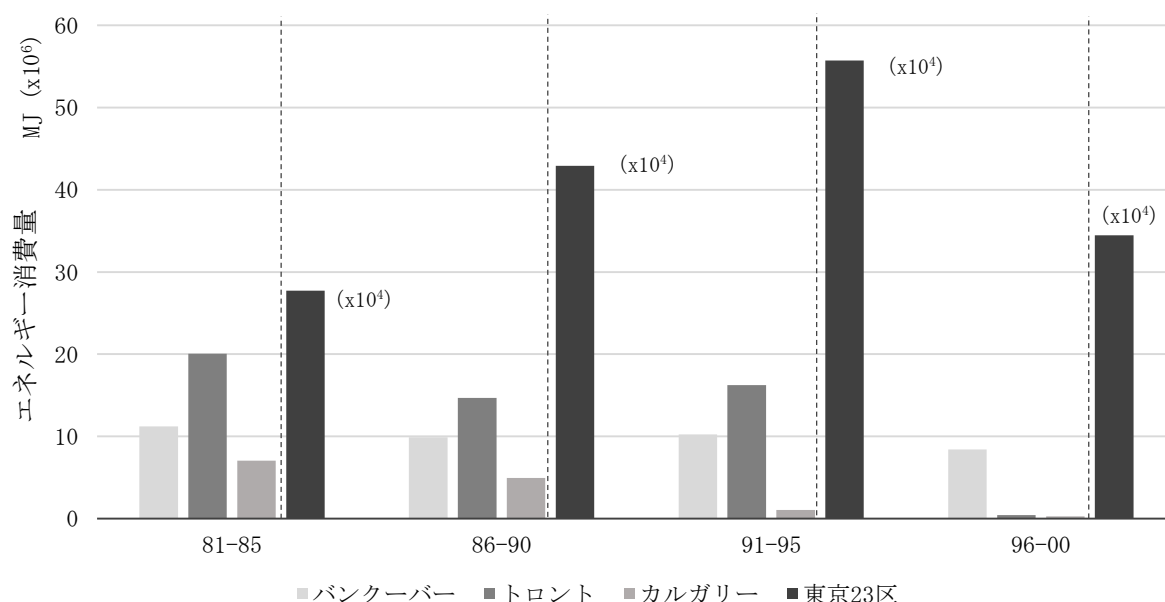


図7.5-7 カナダ・日本主要都市における水平日射遮蔽物を使用した建設に伴うエネルギー消費量

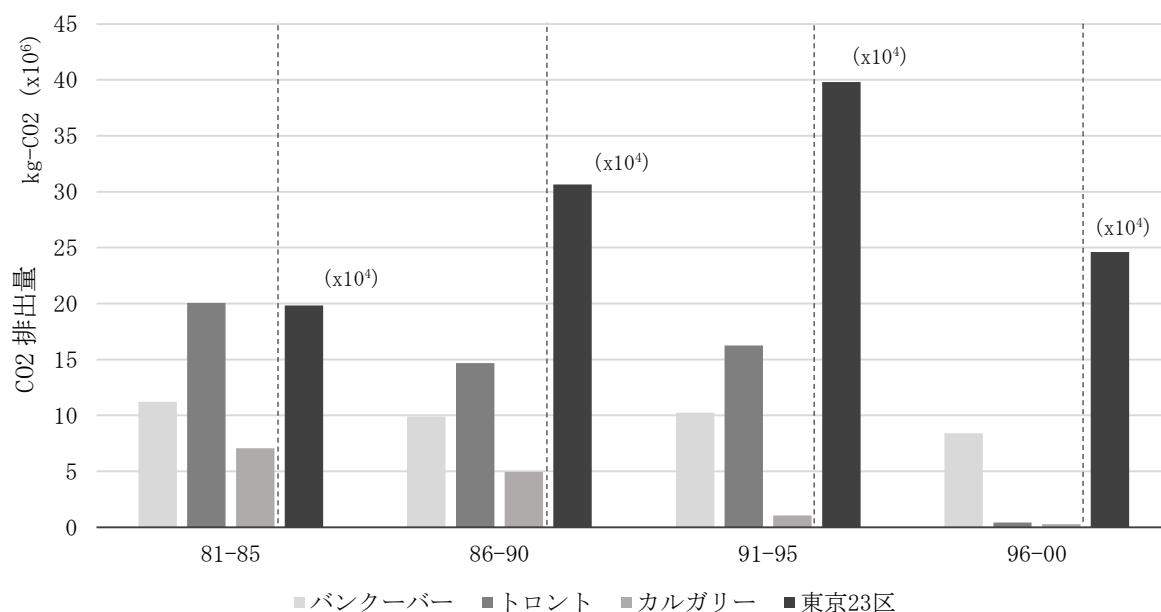


図7.5-8 カナダ・日本主要都市における水平日射遮蔽物を使用した建設のCO₂消費量

7.5.3 外皮性能向上の普及に伴う建設及び運用時のエネルギー消費量

図7.5-9にカナダの主要3都市、バンクーバー市、トロント市、カルガリー市、と日本の東京23区における既存事務所建築の環境配慮型改修の主流である複層Low-Eガラス使用時と、複層Low-Eガラス＋水平日射遮蔽物使用時のエネルギー使用量を81年～90年、91年～95年、96年～2000年を年代別に分析する。

カナダ3都市と東京23区の既存事務所建築の外皮性能向上に伴うエネルギー消費量大きな相違点は、東京23区の照明エネルギー消費量の比率が全体の約13%、カナダ3都市は全体の約6%となった。また、東京23区の既存事務所建築における水平日射遮蔽物使用時の建設及び運用エネルギー消費量は複層Low-Eガラスのみと比較して約1.3倍大きい。これは、水平日射遮蔽物設置時におけるエネルギー消費量と照明エネルギー消費量の増加によるものである。しかし、単独で考察すると水平日射遮蔽物設置時に冷房エネルギー消費量は約3%減少している。カナダ3都市の事務所建築改修の複層Low-Eガラス＋水平日射遮蔽物に伴うエネルギー消費量の特徴は、複層Low-Eガラス建設におけるエネルギー消費量のバンクーバーで約1.6倍、トロントで1.5倍、カルガリーで約1.5%占めている。また、カナダ3都市の水平日射遮蔽物使用時の総合エネルギー消費量は、複層Low-Eガラスのみのエネルギー消費量の差は東京23区ほど顕著に現れなかった。

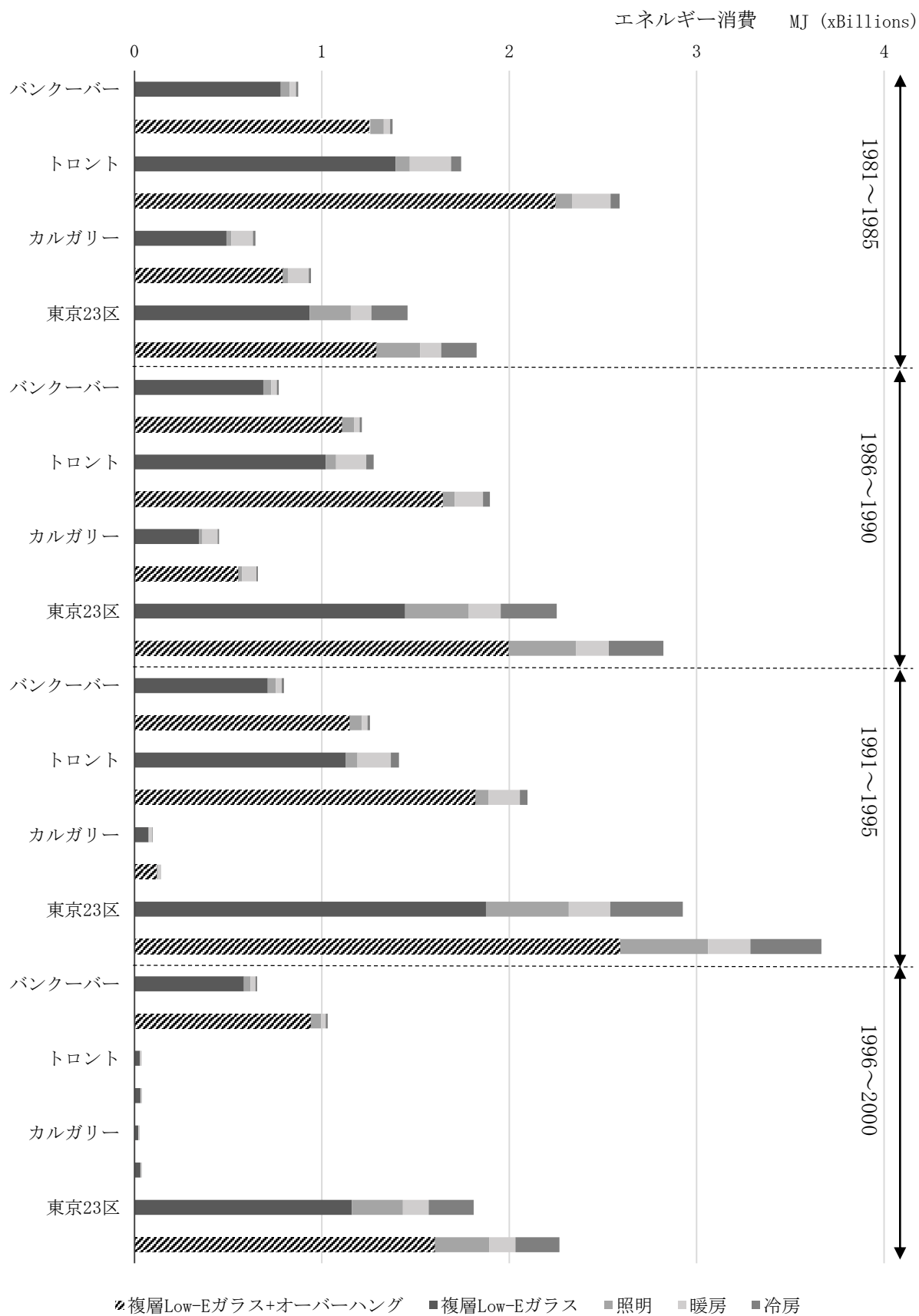


図7.5-9 1991年～2000年のカナダ・日本の主要都市における環境配慮型改修による建設及び運用時のエネルギー排出量

7.6 まとめ

本章では、既存事務所建築における外皮性能向上の重要性を説くだけでなく、カナダ・日本の代表的な都市において既存事務所建築のストック量を調査するとともに、既存事務所建築が外皮性能向上における建設に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量を分析及び比較した。建設時の環境負荷については、これまでに整理した原単位を利用する。また、運用時の環境負荷については、前章のシミュレーションに基づくデータを利用した推計値であり、実際の都心の方位は反映されていない試算した結果が得られた。

以下に結果を要約する。

- 1) カナダ 3 都市と東京 23 区の既存事務所建築の外皮性能向上に伴うエネルギー消費量大きな相違点は、東京 23 区の照明エネルギー消費量の比率が全体の約 13%、カナダ 3 都市は全体の約 6%となった。
- 2) 東京 23 区の既存事務所建築における水平日射遮蔽物使用時の建設及び運用エネルギー消費量は、複層 Low-E ガラスのみと比較して約 1.3 倍大きい。特に、水平日射遮蔽物設置時に冷房エネルギー消費量は約 3%減少している。
- 3) カナダ 3 都市の既存事務所建築における水平日射遮蔽物使用時の建設及び運用エネルギー消費量は、複層 Low-E ガラスのみと比較してバンクーバーで約 1.6 倍、約トロントで 1.5 倍、カルガリーで約 1.5 倍大きい。

第7章 参考文献

- 1) 吉田二郎，清水千弘：環境配慮型建築物が不動産価格に与える影響：日本の新築マンションのケース，2010，(http://www.tokiomarine-pim.com/market/report/report_100618.pdf)
- 2) 日本サステナブル建築協会(JSBC)：住宅の改正省エネルギー基準の建築主の判断基準と設計・施工指針の解説，2013，(http://lowenergy.jsbc.or.jp/top/resource/house_text1.pdf)
- 3) Handerson Engineers INC.：ASHRAE 90.1-2010, Comparing ASHRAE Standard 90.1 From 2004/2007 to 2010, 2014

- 4) Canada Green Building Council:Canada Green Building Trends:Benefits Driving the New and Retrofit Market, 2014, (<http://www.cagbc.org/cagbcdocs/resources/CaGBC%20McGraw%20Hill%20Cdn%20Market%20Study.pdf>)
- 5) Mark Schrieber : Current Trends in Green Real Estate, (<http://thespinnakergroupinc.com/current-trends-in-green-real-estate-recap/>)
- 6) Rob Watson : Green Building Market and Impact report, 2011, (<http://www.green-rating.com/files/9914/2175/5938/GreenBuildlingImpactReport2009.pdf>)
- 7) 国土交通省:建築物の省エネルギー基準の改正等について, 2012, (http://lowenergy.jsbc.or.jp/top/resource/building_slide1.pdf)
- 8) 一般財団法人日本不動産研究所:全国オフィスビル調査, 2010
- 9) USGBC, Greening the Codes, 2011, (<http://www.usgbc.org/Docs/Archive/General/Docs7403.pdf>)
- 10) ACEEE DC, Building Energy Code Advancement through Utility Support and Engagement, Report A126, December 2012, (<http://www.aceee.org/sites/default/files/publications/researchreports/a126.pdf>)
- 11) 国土交通省, エコま法に基づく低炭素建築物の認定制度の概要, (<http://www.mlit.go.jp/common/000996590.pdf>)
- 12) 国土交通省, 低炭素町づくり計画作成事例, (http://www.mlit.go.jp/toshi/city_plan/eco-machi-case.html)
- 13) CoStar Group, Current Trends in Green Real estate Recap, (<http://thespinnakergroupinc.com/current-trends-in-green-real-estate-recap/>)

第8章 結論

本章ではこれまでの各章における内容をまとめ、本研究の成果をまとめると共に、今後の課題と展開について述べることにより本論文の結論とする。

8.1 本研究まとめ

本研究では、カナダと日本の建築物に使用される主要材料のエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位を分析し、国際比較を行うことを目的としたものである。

国際比較を行なうことの意義は、このように異なるエネルギー構成や産業構造を背景とした地域で、建築物の建設におけるエネルギー消費量及びCO₂排出量を分析することである。以下に本研究の結果を要約する。

- 本研究では、建築物の建設に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量削減方策を検討するための原単位データを整備し、2国間の比較がおこなえる原単位データを整備した。
- 建設エネルギー・CO₂削減方策を検討する上で異なる背景を有したカナダ・日本の比較を行うことで、両国における建築物の建設に伴う主要部材別・工事分類別の特徴を明確にし、今後の主要部材・工事分類におけるエネルギー消費量及びCO₂排出量の改善点となりえるデータを整備した。
- 建設エネルギー・CO₂原単位データおよび環境配慮対策による効果に関するデータを整備し、今後の環境配慮型建築技術の一つである水平日射遮蔽物の導入効果の評価の事例を示した。

第1章では、序論として本研究の背景並びに目的を述べた。国際比較の重要性を含むエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位に関する既往研究を調査し、本研究の位置付けを明確にしている。既往の文献調査から、建築物のエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位に関しては数多く研究事例が存在するが、建築産業部門又は建築部材におけるエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の国際比較に関しては研究報告があまり見られない。また、カナダ・日本の建築産業または建築部材におけるエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の国際比較をするた

めにエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の定義の明確化及び分析条件及び分析方法を採る必要があると結論を得て各章の研究を行った。

第2章では、建築物の LCA・建築物総合環境性能評価システムの発展に伴う建築物の建設に伴うエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の整備の重要性を説いた。まず、各国の建築物総合環境性能評価システムを概括し、カナダ・日本における建築物総合環境性能評価システムを考察した。次に、建築物総合環境性能評価システムと併用して使用されるカナダ・日本の省エネルギー法及び建築材料 LCA データベース等を紹介すると共に、建築物の建設に伴うエネルギー消費量と CO₂ 排出量の比較・分析の重要性を説いた。

第3章では、エネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位分析法である積み上げ法と産業連関表の利点と欠点について解説した。本研究は、建築部材のエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位を国際的に比較することが一つの目的である。そのため、各国の平均的なエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の値を持って比較を行う必要があるため、本研究では各国の建築部材の平均的なエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位を分析することができる産業連関表分析法を分析方法として採用した。この算出方法を基に算出したカナダ産業部門における生産者価格百万円当たりのエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の大きい順にならべたものを表 3.4-2 に示した。

また、カナダ・日本両国の産業連関表の特徴及び相違点をまとめ、両国間における産業連関表分析法による比較検討が可能であること述べた。このことは、本研究の大きな課題でもある“国際的なエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の比較”を可能にすることであり、今後の建築物の LCA 及び建築物総合環境性能評価システムの発展に伴う建築材料のエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の整備につながる。

第4章では、カナダ・日本のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の観点から産業構造の特徴を分析した。単位金額当たりの日本のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を基に建築産業レベル、建物レベル、建築部材レベルそれぞれのレベルにおいてカナダ・日本のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の相互比較を行った。その結果、カナダ (50,630 MJ/百万円)・日本 (48,973 MJ/百万円) の住宅建設におけるエネルギー消費量原単位に差は少ないが、日本 (50,477 MJ/百

万円) の非住宅建設のエネルギー消費量原単位はカナダ (43,709 MJ/百万円) より約15%大きい。また、日本の住宅建設 (4,411 kg- CO₂/百万円)・非住宅建設 (4,539 kg- CO₂/百万円) のCO₂排出量原単位はカナダより約40%大きくなった。建築部材レベルでは、コンクリート、製材、合板・木質ボード等の主要建築部材でカナダのエネルギー消費量原単位は日本のエネルギー消費量原単位より大きい。このことより、日本における建築部材製造におけるエネルギー効率がカナダより高いことが分かる。コンクリートにおけるカナダ (246,771 MJ/百万円) のエネルギー消費量原単位は、日本 (107,411 MJ/百万円) の2.3倍となった。

第5章では、カナダ・日本の同規模の鉄骨造の分析対象とするカナダのモデル事務所建築1 (カナダ)、2 (カナダ)、日本のモデル事務所建築3 (日本)、4 (日本) による建築部材の金額・部材料、そして主要部材別・工事分類別のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の分析を行った。カナダ・日本事務所建築それぞれの建設に伴うエネルギー消費量の特徴として、日本の事務所建築の躯体工事エネルギー消費量の平均がカナダの事務所建築の平均より15%程度大きい。一方、設備工事エネルギー消費量において、日本の事務所建築の平均がカナダの事務所建築の平均よりも38%程度大きい結果となった。

第6章では、第5章で使用した分析をもとに、カナダ・日本における両国の省エネルギー法評価基準を満たす外皮性能技術を両国のモデル事務所建築を使って設計し、外皮性能技術建設に伴うエネルギー排出量・CO₂排出量の評価を行うと共に、外皮性能向上に伴う運用エネルギー (照明・冷房・暖房) の評価を行った。本研究では外皮性能技術の中でも特に水平日射遮蔽物に注目し、事務所建築A (カナダ) においてASHRAE90.1, 2010のSHGC値を効率的に減少させ、最も効率の良い水平日射遮蔽物建設に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量関係は850mm幅の水平日射遮蔽物と分析できた。同様に、事務所建築B (日本) においてPAL*数値を効果的に減少させ、最も効率の良い水平日射遮蔽物に伴うエネルギー消費量・CO₂排出量関係は700mm幅の水平日射遮蔽物と分析できた。カナダ・日本の両事務所建築の水平日射遮蔽物設置時における建設エネルギー消費量は、窓のみの外皮性能向上と比較してそれぞれ2倍～1.2倍となった。

第7章では、第6章での研究成果を総括・検討し、両国の省エネルギー法・建築物総合環境性能評価システムで導入すると評価点が高くなるとされている水平日射

遮蔽物設置に伴うエネルギー排出量・CO₂ 排出量及び運用エネルギー消費量を都市レベルで分析し、その導入効果の推計値を明らかにすることで都市レベルでの環境配慮技術を都市レベルで導入する際の検討のための基礎データを示すことにより、本研究で整備された基礎データの適用事例を示した。

8.2 成果の適用と今後の課題

本研究では、カナダと日本の建築物に使用される主要材料のエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位を分析し、国際比較を行ったものである。その研究成果は、今後の建築物の建設におけるエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位削減に適用されうるものである。以下に想定される事例を記載する。

- 1) カナダ・日本における低エネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位建築物の建設に伴う建築部材の選定の際の基本的なデータとしての有効性
- 2) カナダ・日本のみならず他国の産業連関表を使用してのエネルギー消費量原単位及び CO₂ 排出量原単位の算出及び比較により、国際間における各国の建設エネルギー・CO₂ 原単位の基礎データとしての有効性
- 3) 建設エネルギー・CO₂データおよび環境配慮対策による効果に関するデータを整備し、今後の建築物のエネルギー消費量・CO₂排出量の削減方策検討のための資料制作

運用時のエネルギー効率の向上により、建築物の建設に伴うエネルギー消費・CO₂ 排出量が建築物のLCAの中で占める割合が今後大きくなると考えられる。よって今後、建築物の建設に伴うエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位の整備は重要な課題である。

また、両国の多くの自治体では、一定規模以上の建築物を建てる際に省エネルギー法に基づいた環境計画書及び、環境性能評価システムによる評価書の提出を義務付けているため、今後外皮性能のデザイン基準を満たす既存事務所建築の改築の増加が見込まれる。本研究で整備した建築材料のエネルギー消費量原単位及びCO₂排出量原単位を利用して、建築設計時における効果的な外皮性能向上の技術選択は非常に重要な課題と考える。

謝辞

本論文を遂行し学位論文をまとめるにあたり、多くのご支援とご指導を賜りました、主任指導教官である宇都宮大学大学院地球環境デザイン専攻横尾昇剛准教授に深く感謝いたします。横尾准教授には、University of BC（カナダ）時代から10年以上にわたるご指導をいただきました。また、博士課程への進学および研究全般にわたる多大なご支援、ご指導を賜りました岡建雄名誉教授には、横尾准教授同様にUniversity of BC（カナダ）時代から10年以上にわたるご指導をいただきました。ここに心から感謝の意を表します。

学位論文審査において三橋伸夫教授、郡公子教授、増田浩志教授、杉山央教授には、論文審査に際し的確なご助言とご指導をいただきました。厚く御礼申し上げます。

建築環境研究室在籍中にお世話になった研究室の皆さんに感謝申し上げます。宇都宮大学修士課程（当時）の中嶋龍一君には、データ整理・解析などでご尽力いただき感謝の意を表します。また、多数の同級生や後輩の皆さんにも研究の協力や助言をいただきました。心より感謝申し上げます。

最後に、これまでの自分の思う道を進むことに対して、温かく見守りそして辛抱強く支援してくださった両親に対し深い感謝の意を表して謝辞と致します。

2015年 3月 浦野 唯一

著者関連発表論文リスト

[学・協会誌等論文]

1. カナダ・日本の建築物における建設時のエネルギー消費量と CO₂ 排出量の比較
浦野 唯一, 海藤 俊介, 横尾 昇剛, 岡 建雄
日本建築学会環境系論文集、第 701 号、623 頁～629 頁
2014 年に掲載

[国際会議発表論文]

1. Retrofitting Tokyo's Office Buildings with Natural Light
Tadakazu URANO,
Toronto Regional Sustainable Building Conference, Toronto,
31 May-01Jun 2007
2. Comparison of The Amount of Material and Cost for Both Canadian and Japanese Office Building Construction
Tadakazu URANO, Noriyoshi YOKOO, Tatsuo OKA,
World Sustainable Building Conference, Melbourne, 21-25 September 2008

[口頭発表論文]

1. カナダ・日本における建設時のエネルギー消費量と CO₂ 排出量の比較
中嶋 龍一, 浦野 唯一, 海藤 俊介, 横尾 昇剛, 岡 建雄
学術講演梗概集. D-1, 環境工学 I, 室内音響・音環境, 騒音・固体音, 環境振動, 光・色, 給排水・水環境, 都市設備・環境管理, 環境心理生理, 環境設計, 電磁環境 2011, 1127-1128, 2011年 7月
2. 住宅壁材における素材別の光環境と印象評価
寺島 徹, 浦野 唯一, 松野 勉, 横尾 昇剛, 岡 建雄
学術講演梗概集, 2012 (環境工学 I), 519-520, 2012年 9月